



ACADEMIA  
REPUBLICII  
SOCIALISTE  
ROMÂNIA

# PREZENTUL <sup>și</sup> VIITORUL ENERGIEI SOLARE

COORDONATORUL SERIEI  
**MIRCEA MALIȚA**

COORDONATORUL LUCRĂRII  
**ADRIAN V. GHEORGHE**

EDITURA ACADEMIEI REPUBLICII SOCIALISTE ROMÂNIA



ACADEMIA REPUBLICII SOCIALISTE ROMÂNIA  
COLECTIVUL DE PROGNOZĂ

# PREZENTUL ȘI VIITORUL ENERGIEI SOLARE

Coordonatorul lucrării

Adrian V. GHEORGHE

conf. dr. ing.

EDITURA ACADEMIEI REPUBLICII SOCIALISTE ROMÂNIA  
București, 1982



---

## PREFAȚĂ

---

Cînd, în vara anului 1972, în aula Academiei R. S. România unul din părinții zborului cosmic, Herman Oberth, vorbea despre proiectul unei uriașe oglinzi instalate în spațiu pentru captarea energiei solare, era greu de imaginat că în cîțiva ani ideea va fi studiată amănunțit pentru punerea ei în practică în jurul anilor 1980. Vorbele lui Oberth păreau încă de domeniul ficțiunii, cînd întrevedea posibilitatea de a ilumina orașe mari cu lumina reflectată de oglinda spațială, a îndepărtării ceții de pe aerodromuri, a topirii ghețarilor, a influențării climei, a conducerii furtunilor distrugătoare în zone în care nu pot provoca pagube mari, a prevenirii inundațiilor catastrofale și a transformării deșertului Sahara într-o regiune fertilă.

Nu numai reușita explorărilor spațiale pledează în favoarea curajului de a aborda proiecte ce raportate la mijloacele actuale pot părea incredibile, dar și rapiditatea cu care se desfășoară revoluția microprocesoarelor în zilele noastre. Lecția navelor cosmice și a calculatoarelor este semnificativă pentru tehnologia energiei solare care, în prezent, cunoaște o puternică și impetuoasă dezvoltare.

Energia solară căreia îi este tributară întreaga viață de pe pămînt fascinează prin abundența și constanța ofertei ei. Se afirmă că energia primită de la Soare de către Pămînt în 20 de zile este mai mare decît toate rezervele sale fosile. Calculele simple arată că, chiar cu un randament de 10%, 120 m<sup>2</sup> ar putea asigura cererea de energie a unui locuitor al Pămîntului, iar o suprafață de 360 mii de km<sup>2</sup>, cu aceeași eficiență, ar putea satisface toate nevoile de energie ale omenirii.

Pentru o populație de 10 miliarde de oameni cu un standard de viață ridicat,



o arie de 3 000 km<sup>2</sup>, adică 6% din suprafața Pământului, ar fi suficientă. Partizanii energiei solare invocă frecvent date asemănătoare pentru a demonstra urgența orientării cercetărilor științei și tehnicii pentru exploatarea economică a acestei energii.

Imaginea cea mai frecventă pe care o trezește energia solară este aceea a panourilor de colectare instalate pe case, sistem în care însă temperatura nu depășește 100°C, cu o limitare considerabilă a eficienței conversiunii. Există sisteme care concentrează radiația la temperaturi de 300 și 500°C, iar la capătul acestei familii stau turnurile solare care au nevoie de arii vaste de heliostate ce focalizează pînă la 5 MW de radiație solară, temperatura fluidului din containere depășind 540°C. Există o competiție între generatorii termodinamici de putere, bazați pe energia solară, în care căldura colectată este convertită în energie mecanică sau electrică prin pistoane sau turbine și între sistemele de convertire directă a radiației solare în electricitate de către celule formate din cristale semiconductoare. Problema esențială este aceea a costurilor. Producția de serie și perfecționarea continuă care au făcut ca automobilul, o complicată concentrare de tehnologie, să ajungă la un preț deosebit de scăzut pentru o mașină avansată (circa 5 dolari/kg) amintesc legile de dezvoltare ale oricărei tehnici.

Analize economice scot în evidență reducerea considerabilă a prețului celulelor solare, care a coborât de la 100 mii de dolari pe kW în anii '50 la 10 mii dolari pe kW astăzi. Industria își propune ca în jumătatea a doua a deceniului nostru acest preț să scadă la circa 500 dolari per kW, ceea ce ar însemna deschiderea căilor unui mare număr de aplicații ale dispozitivelor fotovoltaice, cum ar fi pompele electrice de apă, iluminatul local, radio și televiziune la niveluri comunitare. La această oră competiția între cele două sisteme se oglindește în perfecționarea pompelor solare, unele pe principii termodinamice utilizînd colectori plani sau oglinzi de concentrare și altele fotovoltaice de 1 kW, devenite aproape competitive în anumite condițiuni cu pompele Diesel.

Vorbind de aplicațiile energiei solare, ne referim în primul rînd la o listă de nevoi energetice, care în țările în curs de dezvoltare, decurg din activitățile domestice, din pomparea apei pentru cerințe menajere și irigații, din agricultură și operații agricole cum ar fi uscarea semințelor sau refrigerarea, industria locală, transporturi, activități sociale și comunitare care includ pe cele sanitare. Nu este un lucru neînsemnat să se vină în întîmpinarea acestor trebuințe, întrucît statisticile arată că pregătirea alimentelor și agricultura sînt activitățile ce reprezintă peste 80% din consumul total de energie în zonele rurale ale țărilor în curs de dezvoltare. Peste 3 ore pe zi din timpul unei persoane sînt consacrate în medie culegerii lemnului de foc, preparării alimentelor, aducerii apei sau măcinatului cerealelor. În Africa, de pildă, numai 4% din locuitori au acces la energie electrică și în 1985 procentul va fi încă sub 10%. Energia solară promite o soluție pentru lichidarea decalajului între țările dezvoltate și țările în curs de dezvoltare care se manifestă atît de sfîșietor și în materie de energie. Un miliard de oameni din zona dezvoltată a lumii consumă 85% din energia mondială, 2 miliarde și jumătate — în Asia și într-o parte a Americii Latine — consumă 15%, în timp ce un miliard din țările cele mai rămase în urmă din Africa și America Latină consumă 1% din totalul mondial.

O altă sursă solară de putere, în afara celor menționate (termodinamică și fotovoltaică) este bazată pe biomasă. Întreaga vegetație ce acoperă planeta



noastră este o uzină de captare a energiei solare pe care o transformă în energie chimică și o depozitează în compuși noi, sintetizați. Mașinile moleculare perfecte în decursul evoluției au performanțe care sînt la această oră superioare conversiunilor de energie și randamentelor mașinilor create de om. Bioenergetica, în plin avînt, ne dezvăluie mecanisme ale acestei uzine și mașini naturale. Este interesantă experiența Braziliei care are un plan național de creare a unor combustibili (alcool de fermentație) produși din biomasa tradițională constînd din lemn, din trestie de zahăr și cărbune. Automobilele unui oraș mare ca Sao Paulo avînd peste 1 milion și jumătate de motoare, au fost puse în mișcare în 1977 cu gazohol, un amestec de benzină și circa 20% alcool. Programul brazilian de gazohol prevede construirea unui număr de distilerii, care vor ridica în 1985 producția de alcool a Braziliei la 4 ÷ 6 mil. m<sup>3</sup>.

Biomasa este energie; socotind consumul de energie pe cap de locuitor în lumea dezvoltată, el corespunde la producția a circa o treime de hectar, iar în țările în curs de dezvoltare la mai puțin de 0,025 ha, pe cap de locuitor.

Zecile de mii de instalații de biogaz, experiențele noi în materie de distilare a lemnului, piroliză, cercetarea produșilor gazoși, utilizarea acidului acetic, a metanolului și a etanolului, drept combustibil, arată sfera largă de preocupări ce stau sub semnul energiei solare.

Nu lipsesc nici proiectele ultraîndrăznețe care prevăd posibilitatea ca în anul 2025 întreaga energie a lumii să fie acoperită din surse regenerabile, cu următorul bilanț: 36% energie solară, utilizată direct ca și căldură, 44% combustibili lichizi, solizi sau gazoși de origine biologică și 20% sub formă de electricitate (energie hidroelectrică, a vîntului sau solară). Un asemenea plan ar însemna ca 70 miliarde de m<sup>2</sup> de colectoare solare să fie instalate și să existe 7,5 milioane MW celule solare (pe lume în momentul de față nu există decît 1 MW capacitate fotovoltaică față de 100 mii MW capacitate nucleară). Capacitatea hidroelectrică ar urma să fie împătrită și cinci milioane de turbine de vînt să fie construite, în timp ce 15% din pădurile lumii ar produce lemnul ca o recoltă de energie.

Pentru a ilustra și cu un alt exemplu unde duce entuziasmul solar ce reînvie cultul soarelui, prezent în toate mitologiile, vom aminti de recentul proiect suedez conform căruia în anul 2015, 62% din energia națională ar fi derivată din resurse biologice, 13% din încălzire solară, 11% din hidroelectricitate, 9% pile fotovoltaice și 5% energia vîntului.

Este posibil ca în procesul de asimilare a oricărei tehnici noi, valul modei, al excesului și al entuziasmului peste măsură să fie unul din vehiculele de transmitere și de difuzare a elementului novator.

Revenind la termenii sobri ai strategiei economice și științifice, putem să spunem că prezenta dezbatere, organizată sub auspiciile Comitetului de prognoză al Academiei R. S. România, în seria problemelor globale, a fost caracterizată de realism și de soluții practice. Comunicarea acad. prof. Ioan Ursu, care a stat la baza acestei discuții, a introdus concepte importante și clarificatoare cum ar fi acelea de monocultură și pluralism tehnologic. Lucrările întrunite în acest volum s-au bucurat de sprijinul remarcabil al Consiliului Național pentru Știință și Tehnologie, care urmărește în mod prioritar problema energiei. Ele se bazează pe indicațiile conținute în documentele de partid și de stat referitoare la dezvoltarea energetică a țării noastre.

Raportul tovarășului Nicolae Ceaușescu la oel de al XII-lea Congres al P.C.R., precum și Programul — directivă de cercetare și dezvoltare în dome-



niul energiei în perioada 1981—1990 și orientările principale pînă în anul 2000 au creat o deosebită răspundere pentru cercetătorii preocupați să aplice sarcinile de diversificare a surselor energetice, de identificare a unor resurse noi, de punere în valoare a potențialului considerabil pe care țara noastră îl deține în diferitele domenii chemate să furnizeze un complement și o întregire a surselor de energie clasică. Comunicările au reliefat nu numai interesul pentru ceea ce se face în alte părți ale lumii, ci mai ales rezultatele concrete obținute prin străduința forțelor de cercetare din laboratoarele și universitățile noastre. Ca și celelalte dezbateri din prezenta serie, s-a făcut apel la cercetătorii din diferite institute, ramuri și domenii pentru a fructifica din plin cadrul de sinteză, schimb interdisciplinar și viziune de termen lung pe care îl oferă cu precădere Academia R. S. România. Organizatorii au beneficiat de contribuția promptă și competentă a Bibliotecii Academiei, prezentă în numeroase proiecte culturale și științifice.

Volumul de față reprezintă o completare a volumului „Energia în următoarele trei decenii”, din aceeași serie, și este — fără îndoială — un punct de plecare pentru dezbateri mai amănunțite în problema presantă și vitală a energiei.

MIRCEA MALIȚA



---

## CUPRINS

---

Ioan URSU  
Adrian V. GHEORGHE

Energia solară— în prezent și în perspectivă 11  
Strategii și opțiuni energetice solare 27

### PROBLEMA ENERGIEI ȘI ENERGETICA SOLARĂ

Costin MOȚOIU  
Călin MIHĂILEANU,  
Vladimir STOENESCU

Cît se poate folosi din energia solară? 47  
Energia zecilor de kilowați 71

### TEHNOLOGII ENERGETICE SOLARE

Coletta DE SABATA  
Alexandru DĂNESCU,  
Stoian PETRESCU  
Sorin BUCURENCIU  
Viorel BĂDESCU,  
Claudia OANCEA  
Marieta GRIGORIU  
Ion DIMA

Tehnologii energetice solare: realizări și perspective 81  
Conversia energiei solare în energie mecanică prin ciclu termodinamic 92  
Sisteme de orientare a concentratoarelor solare 105  
Aspecte și tendințe în cercetarea și utilizarea captorilor fototermici cu apă și aer 111  
Instalații frigorifice solare 119  
Posibilitățile realizării centralelor solare fotovoltaice 130

### ARHITECTURĂ ȘI CONSTRUCȚII SOLARE

Sandu MICLESCU  
Dan CONSTANTINESCU

Direcții în arhitectura solară 149  
Încălzirea locuințelor și producerea apei calde cu ajutorul energiei solare—Contribuții teoretice la analiza sistemelor 163

### BIOENERGETICA SOLARĂ

Valer STOICA,  
Șerban CONSTANTINESCU,  
Gheorghe MENCINICOPSCHI  
Octavian BERBECEL,  
Maria EFTIMESCU,  
Cornelia MIHOC,  
Elena SOCOR  
Victor GHEORGHE,  
Laura ȚUGULEA

Biomase — biogaz 187

Considerații asupra resurselor energetice ale climatului pentru producția agricolă 197

Fotosinteza și celulele solare 212

### PROBLEME ALE IMPLEMENTĂRII ENERGIEI SOLARE

Petre ROMAN  
Dumitru GOIDEA  
Victor GĂNESCU, Mihai G. M. POP,  
Aurel ARSENESCU,  
Ioan ERHAN, Ecaterina URSU,  
Dumitru MANEA  
Vladimir FARA,  
Radu GRIGORESCU  
Alexandru POPOVICI

Energia solară și mediul ambiant 221  
Hidrogenul— purtător al energiei solare 226  
Instalație cu circuit dublu pentru prepararea apei calde cu ajutorul energiei solare la o fermă zootehnică 234

Posibilități de realizare a unei centrale termice solare pentru un consumator termic din agricultură și industrie 240

Proiectarea asistată de calculator a tehnologiilor energetice solare 250

Energia solară și noile aspecte ale cooperării economice internaționale 260

Contents 269

Emil GLUVACOV



---

## ENERGIA SOLARĂ — ÎN PREZENT ȘI ÎN PERSPECTIVĂ

---

Ioan URSU\*)

Construirea conștientă, programatică a viitorului pe baza propriilor convingeri, idealuri și resurse constituie astăzi o virtute de bază a strategiei românești de luptă cu timpul, cu încordările din lume, pentru dezvoltare, bunăstare și civilizație. Tradiționalei receptivități pentru idei generoase, pozitive, în toate domeniile vieții i se adaugă gândirea în perspectivă, capacitatea de inițiativă și înnoire pe care România le manifestă în cele mai variate și sensibile probleme ale contemporaneității — însușiri distinctive ale politicii interne și externe a statului nostru larg recunoscute și apreciate.

Nu este surprinzător faptul că țara noastră a întâmpinat frământările și incertitudinile create de criza petrolului din anii 1973—1974, precum și urmările acesteia, cu înțelepciune și prevedere, dovedind încă înaintea evenimentelor o largă disponibilitate pentru considerarea alternativelor energetice ce se conturau în dezbaterile mondială. Diversificarea surselor de energie, limitarea și reducerea consumului energetic de hidrocarburi, lărgirea bazei energetice prin asimilarea în circuitul economic a resurselor naționale mai sărace, dimensionarea consumurilor pe măsura resurselor, recuperarea energiei re folosibile, evitarea risipei au fost teme constante ale economiei și cercetării din țara noastră.

Toate aceste orientări care își fac astăzi, și nu fără dificultate, drum în mentalitatea din alte părți ale lumii sînt direcții statornice ale politicii energetice românești din vremuri încă netulburate de creșterea prețului petrolului, izvorînd din grija gospodărească de a armoniza cît mai bine nevoile de astăzi cu cele de mîine, năzuințele

### Solar energy— present and future

The essay is devoted to the problematique of solar energy in the context of a national energy policy for the present as well as for the future. Special examples concerning Romanian experience and determination in promoting solar energy and technologies are included in the organization of the paper.

---

\*) Universitatea București



cu posibilitățile. Ele au căpătat o expresie de înaltă autoritate prin programul-directivă de cercetare și dezvoltare în domeniul energiei pe perioada 1981—1990 și direcțiile principale pînă în anul 2000, aprobat de Congresul al XII-lea al partidului, document ce crează dezvoltării energeticii românești perspectiva necesară, pe termen lung, în acord cu țelurile întregii dezvoltări naționale în deceniile următoare.

Stabilind obiectivul strategic al asigurării, pînă la sfîrșitul anilor optzeci, a capacității țării de a fi independentă din punct de vedere energetic. Programul-directivă trasează drept linie generală de conduită preocuparea de a se pune în valoare o cît mai mare diversitate de surse de energie. Judecată în profunzime, această directivă are implicații revoluționare: ea dislocă, de fapt, mentalitatea tradițională a specialiștilor deprinși cu ideea de a da statut tehnic și economic numai acelor resurse care întrunesc condițiile de a fi, simultan, concentrate, capabile de a livra puteri mari în regim permanent, în forme ce se pot lesne converti, stoca, transporta și distribui și la costuri minime. Oamenii de știință, tehnică și economie, producătorii și consumatorii de energie sînt îndrumați să-și asume răspunderea comună de a pune la îndemînă muncii și vieții *orice* formă de energie disponibilă în țara noastră — produs al naturii sau al activității umane, și să învingă constrîngerile tehnice și economice — numeroase — ce se ridică în calea utilizării acestora. Rod al unei solide dialectici, această idee manifestă curajul necesar de a recunoaște posibilitatea transformării treptate a unei economii energetice bazate exclusiv pe combustibili fosili, nevoia depășirii, prin adjudecarea progresului tehnic, a impasului ce se conturează, a schimbării calitative a „sistemului energiei” în contextul economico-social, a modificării unor date esențiale ale contextului însuși.

Este necesar să arătăm că datorăm aceste favorabile premise în mod nemijlocit conducerii partidului și statului nostru. Cu mult înainte de impasul petrolului din anii 1973—1974, tovarășul Nicolae Ceaușescu a indicat cu o strălucită intuiție, întemeiată pe cunoașterea și interpretarea științifică a realităților și tendințelor din lumea de azi, să se treacă în domeniul energiei la abordarea hotărîtă a unei mari varietăți de idei și soluții științifice și tehnico-economice, vizînd, pe lîngă reducerea consumurilor, lichidarea risipei și gospodărirea mai bună a resurselor convenționale de energie, și diversificarea surselor și furnizorilor de energie; eliberarea treptată a energeticii față de petrol și gazele naturale; găsirea unor alternative la hidrocarburi și chiar la energetica nucleară, potrivite resurselor și particularităților țării, în perspectiva dezvoltării ei viitoare.

Pe această bază s-a elaborat, într-un cadru de largă consultare a celor mai felurite medii profesionale din cercetare, proiectare, învățămînt și producție „Programul pentru cercetarea și valorificarea de noi surse de energie” a cărui coordonare a fost încredințată inițial Consiliului Național pentru Știință și Tehnologie. Aprobat de Comitetul Politic Executiv al C.C. al P.C.R. în aprilie 1974, programul a cunoscut o desfășurare dinamică, ce a condus la crearea unei baze de acțiune în perspectivă, în cadrul căreia unele surse și tehnologii energetice neconvenționale și-au demonstrat posibilitatea de realizare tehnologică, iar altele pătrund în practica curentă, fiind în curs de generalizare.



Absorbind și valorificând un important efort de cercetare, inginerie și producție, programul antrenează peste 100 de unități de specialitate din domeniul chimiei, fizicii, energeticii, construcțiilor de mașini și altele, și oferă mai multor mii de cercetători, ingineri, proiectanți, tehnicieni și muncitori, economiști și cadre de conducere posibilitatea de a gândi, a crea, a dezvolta și a introduce în practică soluții tehnice noi, cu un însemnat potențial de eficiență economică, mobilizatoare pentru industria noastră în înnoire.

În program, valorificarea energiei solare ocupă o poziție de primă mărime. O hartă a României consacrată marcării amplasării obiectivelor solare, consemnează astăzi 16 obiective în funcțiune, între care „case solare” la Cîmpina și pe litoral, în plină campanie de experimentări; un grup de hoteluri la Saturn — Mangalia ce primesc apă sanitar-menajeră încălzită solar — probabil cel mai mare proiect solar din această parte a Europei; stații pilot în curs de realizare pentru nevoile de apă și aer cald ale agriculturii (uscări de cereale, deshidratări, spălări etc.); stații pilot pentru nevoile de căldură ale economiei forestiere și industriei materialelor de construcții; poligoane de încercare a turbinelor cu vînt, în munți și în Delta; o stație de biogaz din dejecțiile a 5 000 de animale la Periș, la care se adaugă șantierul unei centrale solare-electrice de 30 kW, numeroase poligoane experimentale și instalații de laborator pentru încercări de materiale și experiențe, conversie fotovoltică, chimie solară, bioconversie de tip fotosintetic, energetica hidrogenului, pile de combustie. Unități ale industriei constructoare de mașini introduc în fabricație echipamente specifice — captatoare solare, pompe de căldură și altele.

Sub coordonarea Consiliului Energetic și a Consiliului Național pentru Știință și Tehnologie s-a desfășurat și aprobat primul act normativ în domeniul noilor surse de energie — Hotărîrea Consiliului de Miniștri nr. 246/1979, care deschide drumul larg aplicării în economie a peste 30 de soluții tipizate și proiecte — directivă de folosire a noilor surse de energie, între care și energia solară.

Față de acestea, pe terenul creat de eforturile de pînă acum, este necesar să privim cu responsabilitate energetica solară ca pe una din expresiile concrete ale pluralismului tehnologic, pe care conducerea țării îl preconizează pentru strategia dezvoltării noastre. În mod firesc, la baza angajării în noile proiecte energetice trebuie să stea aprofundarea conceptelor, datelor științifice, tehnice și economice, evaluarea experienței dobîndite în domeniul solar la noi și în alte țări, formarea unor convingeri proprii privind curente de opinie și tendințele ce se confruntă, într-un amestec de pasiune și rigoare propriu pătrunderii noului, în dezbaterile mondiale.

În sensul acestui demers se înscriu și considerațiile ce urmează.

★

S-a observat, adesea, că a folosi soarele în scopuri energetice poate părea, în funcție de punctul de vedere adoptat, o soluție naturală, evident posibilă și necesară, sau una imposibilă, derizorie. Într-adevăr, știm cu toții că ne datorăm existența unei evoluții condiționate de prezența radiației solare, că aparținem unui ciclu trofic în care fotosinteza joacă un rol esențial, că toate lucrurile prin sau pentru care trudem, au undeva,



la origine, energia solară. Și totuși, mulți devin sceptici în clipa în care se pune problema captării, conversiei, stocării și utilizării radiației solare spre a produce pe scară mare energia calorică, electrică sau mecanică de care civilizația actuală nu se poate lipsi. Pentru a înțelege mai bine motivele acestei atitudini care face parte se pare, dintr-un proces de acomodare cu sursele de energie neconvenționale este potrivită compararea a două poziții extreme, una optimistă, a partizanilor energiei solare, și alta pesimistă, a scepticilor sau chiar adversarilor acesteia.

Susținătorii energeticii solare subliniază adesea că energia solară este cea mai naturală, abundentă, curată și disponibilă formă de energie, putându-se adapta celor mai felurite servicii pe care le cerem energiei, încadrându-se armonios nevoilor sociale, modului nostru de viață.

În fiecare secundă Soarele pierde prin radiație 4,5 mil. de tone din masa sa, adică 390 miliarde tone pe zi — o cantitate neglijabilă, la scara istoriei umane, față de masa totală a stelei noastre, de  $2 \cdot 10^{18}$  miliarde tone. Deși, Pământul nu interceptează decât o jumătate de miliardime din energia radiată de Soare, aceasta corespunde la nu mai puțin de 172 miliarde de megawați, ceea ce reprezintă de 20 000 de ori mai mult decât consumul de putere al omenirii în anul 1970, și, probabil de 1000 de ori mai mult decât consumul necesar în anul 2050. În aceste condiții, totalitatea combustibililor fosili și nucleari acumulați pe planeta noastră de câteva miliarde de ani nu reprezintă nici a 5-a parte din energia pe care Soarele ne-o dăruiește într-un singur an.

De notat că aceste cifre țin seama de faptul că din „constanta solară” de 1,353 kW pe metru pătrat la incidență normală în afara atmosferei, numai circa 338 wați pot fi efectiv absorbiți la suprafața Pământului, în medie, din cauza coexistenței permanente a zilei cu noaptea și a variației firești, între 0 și 90° a incidenței de absorbție, între poli și Ecuator.

Desigur, nu toată radiația solară ce întâlnește în drumul ei Pământul ajunge la sol, iar din aceasta numai o parte poate fi efectiv colectată și utilizată. Știm, astfel că circa 34% din radiația incidentă este imediat reflectată în spațiu de către nori, atmosferă și suprafața planetei. După această pierdere rămânem cu circa 1 kW pe metru pătrat (cu soarele la zenit și incluzând și radiația difuză). Alte 19 procente din radiație sînt absorbite de atmosferă, rămînînd ca 47 de procente să fie absorbite de terenul solid sau de ape. Din toată această radiație absorbită, aproximativ jumătate pune în mișcare circuitul apei pe Planetă, alimentînd ploile, zăpezile și apele curgătoare; alte 5 procente din constanta solară agită atmosfera și oceanele, prin vînturi și curenți; 0,2% mobilizează, mai subtil, structurile electronice ale clorofilei din plantele verzi care, direct sau indirect, ne hrănesc și ne oxigenează, asigurîndu-ne și o bună parte din combustibilii fosili.

Ceea ce rămîne — circa 20% din constanta solară, este radiat în atmosferă, într-o bandă infraroșie cuprinsă aproximativ între 2 și 8 mîimi de milimetru, considerabil îndepărtată de spectrul vizibil, cuprins între 4 și 7 zecimi de mîimi de milimetru.

Dacă presupunem acum că putem interveni în acest periplu al energiei solare, interceptînd la nivelul solului circa 47% din radiația solară care, altfel, ar încălzi terenul, apa și aerul, și convertind-o, în căldură,



utilă, lucru mecanic sau energie electrică cu un randament mediu nu mai mare de 10 %. Se apreciază că 2 % din suprafața unei țări ca S.U.A. ar fi suficiente pentru a asigura complet nevoile de energie ale acestei țări în anul 2000.

De notat că nu s-a ținut seama în acest bilanț de potențialul hidro-energetic planetar, din care se utilizează în prezent numai 8,5 %, nici de potențialul energetic al vînturilor estimat de unii autori la 170 milioane kilowați — ambele avînd la origine tot energia solară.

Iată-ne, așa dar, spun sprijinatorii energiei solare invadați de o energie peste tot prezentă, supra-abundentă, pe care, practic, o ignorăm.

Încercînd să corecteze această viziune, ce li se pare prea optimistă, scepticii îi opun părerea că utilizarea pe scară mare, ca alternativă, a energiei solare va împinge omenirea în aventura unor noi și uriașe cheltuieli, în alte crize — de materii prime și materiale, insuportabile. Astfel, unii autori au imaginat un scenariu al satisfacerii integrale cu energie solară a nevoilor energetice ale unei țări ca S.U.A. în anul 2000. Presupunînd că în societatea americană, cunoscută ca mare consumatoare de energie, nu vor avea loc schimbări radicale în stilul de viață, modul de aprovizionare cu energie nu va diferi prea mult de cel din ziua de azi, care constă în a produce masiv și intensiv energie, indiferent de destinație, în grupuri de puteri unitare mari. În acest spirit, dintre soluțiile tehnice de folosire a energiei solare pentru o economie „totul solar — totul electric”, una din soluțiile ce se poate reține o reprezintă proiectele de tip „centrală solară turn”. Este vorba de cîmpuri vaste de oglinzi care concentrează radiația solară asupra unor cazane situate pe structuri înalte, la înălțimi de cîteva zeci sau sute de metri, în care un fluid de lucru trece în fază de vaporii pentru a se destinde apoi într-un grup turbogenerator, creînd energie electrică.

După cum arată însuși promotorii proiectului, pentru a satisface integral nevoile de energie ale S.U.A. în anul 2000 prin centrale solare turn, în ipoteza unui aport de energie solară de 0,33 kilowați pe metru pătrat și oră, ar fi necesară acoperirea cu oglinzi a unui teritoriu cuprins între 65 000 și 80 000 kilometri pătrați, reprezentînd cam 0,85 % din suprafața S.U.A. Nu este mult, dar pentru aceasta ar fi necesare nu mai puțin de 130 milioane tone de aluminiu, adică de peste 30 de ori producția anuală a acestui metal în S.U.A. ; pe acesta s-ar aplica o cantitate de sticlă depășind de 4 ori producția de sticlă a S.U.A. în anul 1970, iar spre a susține aceste oglinzi ar fi necesar ceva mai mult oțel decît conțin actualmente toate automobilele ce circulă în această țară.

În această lumină, folosirea energiei solare apare, fără îndoială, prohibitivă.

Adevărul, se știe, nu este partizanul atitudinilor extreme. Or, în argumentele evocate mai sus se pot recunoaște convingerile extremiste ale celor dispuși să creadă că în energetica din zilele noastre, atît de complexă și de strîns legată de progresul tehnico-științific și economic, ar mai fi posibile soluții unice, exclusive, salutare. Opinia noastră înclină spre moderație : față de potențialul, incontestabil, al energiei solare utilizabile, introducerea acesteia în practică este, cu siguranță o opțiune tehnologic posibilă, ce se poate dovedi economic eficientă și, mai ales,



de dorit pe plan social. O asemenea opțiune însă, poate decurge numai dintr-un mod nou de a conduce procesul de evaluare și selecție a tehnologiilor de perspectivă economică.

Afirmarea pe scară mare a energiei solare, transformarea ei dintr-o promisiune marginală într-o alternativă energetică majoră nu depinde numai de progresul tehnic, căci dispunem deja de suficiente soluții a căror fezabilitate și chiar economicitate a fost demonstrată, cât mai ales, de acceptarea alternativei solare de către sistemele tehnico-economice constituite.

Unii analiști au, fără îndoială, dreptate să constate că, atunci când se examinează evoluția tehnologică în energetică, se impune imediat observația conform căreia, la un moment dat, totul se petrece ca și cum societățile industriale dezvoltate ar fi incapabile să-și asume un pluralism tehnologic, tinzând să impună câte o tehnologie dominantă, ce se generalizează creînd impresia că există o schemă „obligatorie” de creștere energetică: astfel, formula „totul petrol” a urmat formulei „totul cărbune” și tinde astăzi să fie înlocuită cu „totul nuclear” sau chiar „totul nuclear — totul electric”, corespunzând unor strategii de creștere economică prin industrializare la nivel de mari unități consumatoare — și risipitoare — de energie. Un cercetător francez al problemei nu ezită să observe că refuzul pluralismului, al alternativelor tehnologice în domeniul energetic în economiile occidentale decurge din „caracterul adesea foarte capitalist” al modului de alegere a tehnologiilor, în care exigențele pieței obligă factorii de decizie să rețină una sau două tehnologii susceptibile „să aducă profit maxim în cel mai scurt timp”.

Ce se întâmplă, în aceste condiții, cu efectele negative ale „monoculturii tehnologice” impusă de piață cu sprijinul statului? Ne lămurește același autor, arătînd că, creșterile de prețuri la materiile prime excesiv solicitate de tehnologiile dominante, crizele de aprovizionare, poluarea, șomajul în situațiile critice etc. sînt, evident, trecute în contul întregii societăți care plătește astfel, din greu, urmările obstinării mediilor industrial-financiare în urmărirea, cu orice chip, a profitului imediat. Pentru acest fenomen ni se propune chiar un termen academic — „internalizarea socială a efectelor externe ale evaluării și opțiunilor tehnologice”. Fenomenul este trăit din plin în zilele noastre și va marca, probabil, vreme de cîteva decenii politicile energetice ale marilor consumatori de energie.

Anii ce au urmat primei crize severe a petrolului pot fi priviți ca începutul unei ere de tranziție în care, prin politici pe termen scurt și mediu, marii consumatori de energie ai lumii încearcă să reziste noilor condiții pregătindu-se, totodată, pentru trecerea inevitabilă într-o nouă etapă de dezvoltare. Dintre orientările ce se disting în practica acestor ani, se pot menționa:

- Stocarea de petrol, care deține, de pildă, o înaltă prioritate în programul energetic al S.U.A.; se avansează cifra de 250 milioane barili stocați pînă în 1980 și 1 000 milioane barili — pînă în 1985. O măsură prevăzătoare, fără îndoială, dar lipsită probabil de însușirile unei soluții de lungă durată.

- Conservarea energiei, cel mai înțelept lucru de făcut în condițiile în care știm că energia efectiv utilizată ca servicii nu depășește 45 % din



volumul energiei primare consumată la nivel mondial; dispunînd de un însemnat potențial, conservarea energiei va avea efecte sociale favorabile și de durată, imprimînd un nou stil, mai rațional, de gospodărire a energiei, de muncă și de viață.

● Recursul la energia nucleară de fisiune. În prezent, această soluție apare ca inevitabilă, mai ales în ideea salvagărdării ritmurilor de creștere ale economiei unor state. deși nu toată lumea este de acord asupra acestei aprecieri. Desigur dacă „nuclearul” este înțeles ca alternativă globală și exclusivă, aceasta ar putea proiecta lumea într-un nou radicalism, o nouă „monocultură”, care nu va fi, probabil, cu nimic mai avantajoasă pe planul implicațiilor sociale decît cea a petrolului. Dimpotrivă, folosită cu măsură, ca o cale de sprijin al energiei în condițiile complicării treptate a problemei hidrocarburilor, energia nucleară va aduce foloase însemnate.

Oricît de conștienți am fi de limitele inerente ale unor orientări ca cele de mai sus, nu ne putem permite să le ignorăm și să nu ne angajăm în felul nostru propriu, în transpunerea în viață a unor măsuri de urgență în domeniul energiei. Totodată, însă, avem datoria să aprofundăm analiza efectelor acestora, asigurîndu-ne din vreme o rezervă de noi soluții, o reală capacitate de manevră. O politică energetică realistă nu se poate concepe decît pe termen lung; ea nu trebuie să se sfiască să nege dialectic natura tehnico-economică a actualelor sisteme de folosire a energiei, preluînd elementele lor viabile, depășind limitele și neajunsurile lor actuale.

În această privință, au apărut în lume păreri interesante ce merită să fie examinate. Ne putem, astfel, referi la opiniile lui Amory B. Lovins — un tînar fizician ce activează în S.U.A. în calitate de consultant în problemele energiei. Lovins susține că lumea de azi poate opta în domeniul energiei între două grupe de tehnologii: tehnologiile „grele” și cele „ușoare” (traducerea liberă a termenilor englezi „hard”, respectiv „soft”). Tehnologii energetice „grele” tipice ar fi cele încorporate în sistemele electro-energetice actuale, cu marile lor centrale, rețele de transport și distribuție, centrale nucleare-electrice, iar din domeniul noilor surse de energie — centralele solare-turn, despre care am mai vorbit, marile uzine de combustibili sintetici ce se prefigurează, uzinele cu șisturi bituminoase și, la limită, centralele nucleare de fuziune. După acest autor, „tehnologiile grele” sînt, în esență, opțiunile posibile ale unei monoculturi energetice sau alteia; ele sînt puține la număr și cu tendințe de limitare a pluralismului tehnologic; sînt orientate spre producerea centralizată de energie în grupuri de puteri unitare mari; urmăresc generarea de energie secundară de calitate superioară („premium”), în general electricitate și fluide combustibile, indiferent de nevoile reale ale consumatorilor finali; au un grad însemnat de complicație tehnologică, ceea ce angajează investiții capitale și aparat funcțional mari; sînt, cel puțin în prezent, legate mai ales de surse de energie primară epuizabile și poluante.

Tehnologiile energetice grele sînt cele dominante astăzi. Ele decurg din istoria primei revoluții industriale, care a creat marea producție de masă și corespund concepției curente despre aprovizionarea cu energie, conform căreia sarcina energiei este de a crea pe piață un stoc flotant abundent de energie, în una sau două forme „premium”, un uriaș rezer-



vor energetic, același pentru toți consumatorii, din care fiecare să se poată adăpa după dorință.

Tehnologiile energetice „ușoare” se definesc prin contrast cu cele „grele”. Astfel, ele ar fi diverse și orientate spre producerea locală de energie, conform cantităților și calității efectiv solicitate de consumatori; produc energie nu neapărat „premium” (pe care consumatorii să o degradeze pentru a ajunge la satisfacerea unor nevoi ca spălatul pe mâini sau fiertul cafelei); sînt relativ simple, accesibile oricărei industrii, ba chiar și atelierului de amator, nu costă mult și, în condițiile progresului tehnic și al unei producții de masă, se pot ieftini considerabil; nu necesită personal de întreținere împovărat dar creează locuri de muncă pe plan local; în sfîrșit, tehnologiile „ușoare” par a fi legate exclusiv de surse de energie inepuizabile și „curate”.

Care ar fi deci, tehnologiile „ușoare”? De obicei, ni se dau drept exemple: încălzirea și răcirea spațiilor cu energie solară; aplicațiile energiei vînturilor la producerea locală de electricitate, putere de pompaj etc.; producția de biogaz și alți combustibili sintetici, din deșeuri agricole, zootehnice, urbane etc.; mașinile mecanice solare (pompe etc.), dispozitivele fotovoltaice la utilizator; microhidrocentralele și altele asemenea. Afirmarea tehnologiilor „ușoare” ar putea fi unul din rezultatele sociale ale revoluției tehnico-științifice, care democratizează și desacralizează știința și tehnica, punîndu-le la îndemîna maselor, din ce în ce mai instruite mai chibzuite, mai dispuse să-și rezolve local, cu forțe proprii, nevoile, cu mijloace potrivite, evitînd grandoarea tehnică și risipa asociată acesteia.

Tehnologiile energetice „grele” duc la „centrism, vulnerabilitate, tehnocrație și contradicții” spune Lovins. Din ele pot decurge „expansiune economică sau recesiuni; lipsă de forță de muncă sau șomaj; lipsă sau exces de capital; nemulțumiri locale și probleme globale”, susține autorul citat. Cu ele, „poți să îngheți pe întuneric, pentru că s-a oprit curentul sau gazul sau, dacă preferi, pentru că nu ai cu ce să plătești curentul sau gazul”. În schimb, tehnologiile „ușoare” ne oferă „descentralizare, mai multă securitate și prosperitate”.

Dincolo de asemenea aprecieri radicale, pe care le redăm spre a sugera culoarea dezbaterii, deosebirea ce se poate face între tehnologiile energetice „grele” și cele „ușoare” pare să aibă unele elemente de sprijin în realitate. Astfel, într-o țară industrializată și dezvoltată economic, ca R. F. Germania, trei sferturi din utilizările finale ale energiei sînt sub formă de căldură, iar din aceasta, jumătate este căldură sub 100°C. Numai 18% din nevoile finale se exprimă în combustibili fluizi și numai 7% — ca energie electrică. Ne putem, deci, întreba dacă marile nevoi de căldură de parametri modești, chiar și ale țărilor dezvoltate nu s-ar putea obține în mai mare măsură, de exemplu, de la soare, prin tehnologii „ușoare”. Credința că tehnologiile „ușoare” sînt numai apanajul țărilor în curs de dezvoltare și de preferință intertropicale, ar fi, deci, o prejudecată.

Contrar opiniei răspîndite, tehnologiile „ușoare” sînt mai puțin intensive sub aspectul investițiilor decît cele „grele” cu care se pot satisface aceleași nevoi finale. Mai mult, deoarece ele au termene de dare în funcțiune mai scurte, s-ar crea o mișcare mai vie a mijloacelor financiare, astfel încît, pornind de la o investiție inițială dată s-ar putea finanța, într-o



anumită perioadă de timp, o extindere mai mare a obiectivelor „ușoare” decât a celor „grele”. Pe de altă parte, se pare că nici o economie nu-și mai poate permite în mod rezonabil să finanțeze o filieră exclusiv „grea”. De pildă se afirmă că în cazul S.U.A. chiar în cea mai moderată versiune a programului energetic al acestei țări, ar fi cerute pînă în anul 1985 investiții de 1 000 de miliarde de dolari (la cursul din 1976). În această situație unii cred că s-ar putea foarte bine să nu mai rămînă destui bani pentru a crea acei consumatori care să folosească energia produsă.

Se pare că marii consumatori de energie au început să sesizeze virtuțile tehnologiilor energetice noi, în particular ale celor „ușoare”. De cîțiva ani marile companii implicate în sectoare-cheie „grele”, ca petrolul, apărarea, aero-spațialul, nuclearul, planifică și investesc serios într-o tentativă de dublare a „nuclearului” unde beneficiile scad, iar riscurile financiare cresc, orientîndu-se spre „solar”. Între cei ce au intrat în afaceri în domeniul solar în S.U.A., se pot întîlni mulți campioni „grei”, ca Corning, Owens — Illinois, Grumman, Lockheed, Boeing, Martin-Marietta, TRW, Westinghouse, General Electric, Mc Donnell-Douglas.

În lumea lui, Lovins este privit cu un semnificativ amestec de interes, toleranță și ironie. Unii îi reproșează aroganța și lipsa de rigoare matematică a argumentelor. În ceea ce ne privește, menținînd o necesară prudență față de orice doctrină ce izvorăște din alte realități și convingeri, recepționăm, totuși, asemenea mesaje, ce ne pot ajuta să cuprindem mai bine fenomenologia și mișcarea de idei din lumea complexă în care trăim.

Unul din simburii raționali ai vederilor prezentate aici este, incontestabil, constatarea că energia solară poate pătrunde încă de astăzi, în mod economic și cu un efect social și ambiental favorabil, în energetică, mai ales pe calea tehnologiilor „ușoare”, cu condiția să acceptăm unele schimbări în mentalitatea tehnico-economică, însușindu-ne criterii mai cuprinzătoare, de evaluare multilaterală a tehnologiilor.

Așa cum arată un raport al UNESCO, economicitatea energiei solare nu trebuie redusă, pur și simplu, la un singur indicator — să spunem, bani pe kilowattoră. De altfel, un asemenea punct de vedere restrictiv ar condamna și alte soluții, de folosință curentă. De pildă, se știe că prețul kilowattorei electrice variază în S.U.A., de la două zecimi de cent, pentru energia produsă într-o mare termocentrală, la 70 000 (șaptezeci de mii) de dolari, pentru electricitatea produsă de bateriile pentru ceasuri electronice.

Cu toate acestea, energetica solară nu vrea să se sustragă nicidecum analizei economice. Din studiile cunoscute, rezultă strădania vădită de a da utilizării energiei solare o fundamentare economică cît mai serioasă. Iată, de pildă, unele considerente revelatoare :

● Costul energiei utile provenite de la Soare prin tehnologii „ușoare” este considerabil mai mic decât cel al aceleiași energii deduse prin tehnologii „grele”. Astfel s-a stabilit că, costul de revenire anual al energiei de origine solară obținute prin orice filieră ce utilizează captatori plani, este dat de o expresie de forma

$$C_{rev.} = (C_{cap.} \cdot r + C_{ex.}) \cdot (0,001 T^2 + 1) + 1 / (R_s(D + d) T / (T + T_0))$$

unde  $C_{rev}$  este costul de revenire al energiei de origine solară în unități monetare per kilocalorie (u.m./kcal);  $C_{cap.}$  — costul captatorilor, în u.m./m<sup>2</sup>;



$C_{ex}$  reprezintă cheltuielile de exploatare, în u.m./m<sup>2</sup> și an,  $r$  este rata anuală de amortizare;  $R_s$  — intensitatea radiațiilor solare totale, în kilocalorii/m<sup>2</sup> și an;  $D$  — fracțiunea de radiație directă primită;  $d$  — fracțiunea de radiație difuză primită;  $T$  este intervalul de temperatură între care operează fluidul de lucru în captator, iar  $T_0$  — temperatura mediului ambiant, în general, prin convenție, de 20°C.

Introducînd în această expresie diferite grupe de date, se constată, de pildă, că aplicațiile „grele” ale energiei solare, la temperaturi de 500°C au un cost de circa 15 ori mai mare decît al aplicațiilor „ușoare”, la temperaturi de circa 100°C.

● Deși investiția specifică în centralele solare de tip „greu” este considerabilă, ea nu este, totuși, departe de competitivitatea cu celelalte tehnologii „grele” acreditate astăzi.

Tabelul de mai jos crează o imagine în acest sens, la nivelul următorului deceniu :

Tipuri de centrale	Investiție specifică (Franci fr/kW)
Centrale termoelectrice :	
— cu gaz natural	900— 1 100
— cu păcură	1 100— 1 300
— cu cărbune	1 300— 1 800
Centrale solare :	
— fotovoltaice terestre	1 300— 300 000
— fotovoltaice spațiale	2 200— 900 000
— termice	4 000— 9 000

(după I. Peyches)

După cum se vede, pragul de competitivitate pentru centralele solare ar trebui ridicat în jurul valorii de 2 000 F/kW, ceea ce impune ca prețul de revenire al celulelor fotovoltaice, de exemplu, să scadă de circa 100 de ori. Se prevede că o asemenea scădere poate avea loc în următorii 10 sau 20 de ani, sub presiunea a doi factori :

— un efect al producției de serie : folosind în continuare exemplul conversiei fotovoltaice, se știe că în prezent celulele fotovoltaice sînt produse marginal în industrie — pentru utilizări speciale la nivele maxime de 500 m<sup>2</sup>/an. În condițiile trecerii la serie mare, costurile pot scădea substanțial; în acest sens se citează exemplul diodelor cu siliciu, al căror preț a scăzut într-o singură decadă, exact de 100 de ori, cît se pretinde azi celulelor fotovoltaice cu siliciu sau galiu-arsen ;

— un efect al progresului tehnic ; în cazul menționat, efortul este orientat astăzi spre utilizarea unor materiale amorfe, depuse pe substrate suple (ce se pot bobina și întinde după dorință) și spre creșterea randamentelor de conversie pînă dincolo de limita admisă azi, de 20%. Cu asemenea îmbunătățiri, costul suprafețelor de conversie fotovoltaică poate scădea pînă la 10 F/m<sup>2</sup> — o valoare convenabilă.

Judecăți asemănătoare se pot aplica și altor căi de utilizare a energiei solare. Iată, în continuare, cîteva cazuri care ilustrează aceeași tendință



— de apropiere rapidă a tehnologiilor solare de condițiile unei competitivități economice, apreciată însă în mod corespunzător, ținând cont de cheltuielile „interne”, directe, cât și de cele „externe”, colaterale sau ipotetice, pe care le-ar implica alte soluții.

- Cele peste 2 milioane de instalații de încălzit apa existente în Japonia aduc o economie anuală de 5 000 tone echivalent petrol.

- Peste 100 000 de instalații similare din Israel permit evitarea unui import de combustibil în valoare de un milion de dolari pe an. Asemenea instalații se amortizează în 5—6 ani.

- Prețul de revenire al unei „sere” cu geam dublu pentru casele solare pasive realizate în Franța este de circa 200 franci/m<sup>2</sup> (la cursul din 1973); un asemenea sistem primește, pe an și metru pătrat 1 600 kWh, din care peretele de beton captează, stochează și transmite spațiilor interioare 500—600 kWh de căldură. Ca atare, costul kilowattorei solare astfel obținute este sub 5 centime, adică de 2—3 ori mai mic decât al kilowattorei electrice, luându-se în calcul o rată de amortizare a serei de 12% pe an.

- Cu un cost al investiției mediu de circa 10,75 dolari pe metru pătrat de suprafață captatoare, costul unitar al 1 000 litri de apă dulce produsă din apa sărată în distilării solare se situează între 0,80 și 1,60 dolari. Chiar dacă se adaugă costul stocării, calea solară de desalinizare, tot rămîne, în multe cazuri, mai ieftină decât alte căi, pentru care mia de litri de apă dulce costă peste 1,85 dolari. Astfel, în U.R.S.S. în centrul și răsăritul deșertului Karakum, prețul apei dulci adusă de la distanțe de 70 km este de  $5,25 \div 7,35$  dolari/1 000 litri. În zonele aride ale R.S.S. Turkmene este mai economic să se folosească distilatoare solare, decât să se aducă apa dulce de la distanțe de 80—100 km. Studiile arată că pentru nevoi de apă dulce de pînă la 85 000 litri pe zi, distilarea solară este mai ieftină decât orice alt mijloc de desalinizare; între 85 000 și 200 000 de litri competiția este mai strînsă și cu sorți egali între diferite căi și de abia de la 200 000 de litri în sus calea solară devine, după unele aprecieri, neeconomică.

- Cele cîteva pompe de apă solare comercializate de compania franceză Sofretes costau, în 1973, 300 000 franci bucata. Numai după un an, în 1974, fabricîndu-se cîteva duzini și recurgîndu-se la perfecționări tehnice și reproiectări, prețul a scăzut la 200 000 franci. Din 1975 s-a trecut la producția de serie, la prețuri ce se așteaptă să scadă la 40 000 franci.

- Prototipul unui motor solar francez de 50 kW, necesitînd o suprafață de captare de 2 500 m<sup>2</sup>, a costat 1,5 milioane franci. O sumă pe care fabricantul nu o consideră prohibitivă, ținînd seama de costul liniilor de înaltă tensiune la care ar trebui să se recurgă pentru a asigura pe alte căi puterea mecanică în regiunile izolate avute în vedere. Este un exemplu concret de luare în considerare a „cheltuielilor externe” în luarea deciziilor tehnico-economice.

Un alt exemplu, în același sens, îl oferă o analiză conform căreia, ținînd seama de faptul că prețul electricității produse în centrale electrice se va tripla probabil pînă în 1990, din cauza cheltuielilor externe de depoluare, obligatorii, pînă și o centrală solară fotovoltaică utilizînd 1,5



km<sup>2</sup> de fotocelule cu sulfură de cadmiu (randament 7%, preț actual 600 franci/m<sup>2</sup>) va produce electricitate la un preț într-un total acceptabil.

● Un proiect francez al CNRS de centrală solară-turn de 25 MW (2 500 oglinzi, 400°C temperatura de lucru), consideră competitivă kilowattora ce va fi produsă la prețul de 10–20 centime.

În sfârșit, spre a ne face o imagine și asupra energeticii solare de mare putere, în ipoteza că, în viitor și tehnologiile solare „grele” vor pătrunde în economie pe cale deschisă de cele „ușoare”, este bine să știm că, pentru a produce 100 megawați de origine solară avem nevoie de circa 3 km<sup>2</sup> pentru o centrală cu conversie termodinamică, de 6–8 km<sup>2</sup> pentru o centrală fotovoltaică și de 250 km<sup>2</sup> dacă recurgem la conversie bioenergetică, în biomasă vegetală.

La o extremă a tehnologiilor solare se află astăzi probabil, bucătăriile solare, produse în lume la prețul de circa 12 dolari sau, mai aproape, butoaiele de tablă neagră cu care constanțenii noștri își încălzesc, vara, apa pentru duș, sustrase deocamdată analizelor economice înalte, dar care funcționează ... La cealaltă extremă se află proiectul Glaser, al Companiei Arthur D. Little, din S.U.A., care vrea să amplaseeze pînă în 1990 pe o orbită geostaționară, la 36 000 km înălțime, 25 km<sup>2</sup> de panouri fotovoltaice și un generator de microunde, cîntărind în total vreo 10 000 de tone. O antenă de sol, cu diametrul de 7 km va primi cei 5 000 megawați trimiși din spațiu și îi va livra la un cost al investiției de circa 100 dolari pe kilowatt instalat. Să nu zîmbim sceptic, căci aparținem, în fond, generațiilor care au văzut oameni și utilaje pe Lună.

Între aceste extreme se situează zeci de căi actuale sau posibile de captare, conversie, stocare și utilizare a energiei solare, despre care știm suficient pentru a le transpune în practică.

Aceste realități au transformat „preocupările solare” și multiplele polemici, dintre care pe unele le-am menționat întrucît se vehiculează și la noi, în cuprinzătoare programe de cercetare și dezvoltare tehnologică, ce vor asigura în anii 2000–2050 contribuții solare sensibile în balanțele energetice ale diferitelor țări.

Astfel, în Statele Unite bugetul pentru activitatea de concepția în domeniul energiei solare s-a situat, începînd din anul 1977, în jur de 300 milioane dolari, reprezentînd aproape trei sferturi din bugetul alocat cercetărilor pentru filiera nucleară. În același timp, prognoza S.U.A. menționează pentru perioada 2020–2050 un aport al soarelui de circa 25% din totalul resurselor energetice primare, față de numai 19% aportul energeticii nucleare.

Japonia, care a efectuat în cadrul programului național „SUNSHINE” cheltuieli de 17,4 miliarde yeni (aproximativ 60 milioane dolari) pe perioada 1974–1977, a sporit fondurile alocate pentru anul 1978 la peste 27 milioane dolari, escaladîndu-le în continuare. Programul vizează, între alte obiective, construirea pînă în anul 1985 a unei centrale solaro-electrice de 10 megawați și realizarea unei fabrici de hidrogen obținut prin descompunerea apei de mare în puternice cuptoare solare. Prognoza Japoniei, pentru anii 2000–2020, cifrează contribuția realizărilor programului SUNSHINE la circa 20% din totalul resurselor energetice primare.



Remarcabilă este orientarea U.R.S.S. — țară dotată cu resurse abundente de petrol, gaze naturale, alți combustibili fosili, care acordă, cu toate acestea, atenție dezvoltării unor tehnologii performante în domeniul noilor surse de energie. Proiectele geotermale din extremul nord, prelucrarea complexă a șisturilor bituminoase în republicile baltice, cercetările în domeniul altor forme de petrol și gaze neconvenționale, ca cele captive în hidrați, programul susținut de realizare a unor sisteme magneto-hidrodinamice, recente inițiative de amploare în domeniul producerii combustibililor sintetici din cărbuni, cercetările intense de obținere pe cale biologică a hidrogenului, dezvoltarea criogeniei și alte importante proiecte avansate crează un context amplu și cercetărilor pentru valorificarea energiei Soarelui, atât în formă directă cât și derivată — ca energia vântului și biomasa.

În țările vecine, noile surse de energie câștigă, de asemenea, teren. Sînt cunoscute, astfel, realizările de amploare din R. P. Ungară în valorificarea apelor geotermale, cercetările din R. P. Cehoslovacă și R. D. Germană în domeniul gazeificării cărbunilor; au trezit interesul inițiativele din R. P. Bulgaria, de creare a unor structuri de cercetare și producție pentru energiile noi.

Exemple de acest gen subliniază tot mai mult orientarea politicii energetice la nivelul guvernelor a numeroase țări către un pluralism tehnologic deschis în domeniul energiei.



După cum arătam, strategia noastră energetică a încurajat din totdeauna ideea diversificării resurselor energetice primare și a furnizorilor, păstrînd un echilibru înțelept între petrol, gaze și cărbuni și studiînd în toată profunzimea și întinderea implicațiile angajării pe calea nucleară. În cadrul strategiei de dezvoltare pe termen lung elaborate de către partid, o atenție deosebită e acordată evaluării căilor tehnologice, cultivîndu-se cu hotărîre tendința de a dezvolta o cât mai mare rezervă de soluții și dînd fiecărei soluții un loc posibil, de sprijinire a efortului național, în ideea valorificării cât mai depline a tuturor resurselor pe care le avem.

Iată de ce putem spune că dispunem în domeniul energiei de o strategie clară și înzestrată cu cea mai înaltă autoritate, încorporată în Programul Partidului Comunist Român de făurire a societății socialiste multilateral dezvoltate și de înaintare a României spre comunism, în documentele programatice ale celui de-al XII-lea Congres al partidului. Conform programului „cercetarea științifică va fi orientată cu prioritate spre cunoașterea și valorificarea superioară a tuturor resurselor naturale de care dispune țara noastră. O atenție deosebită se va acorda descoperirii unor noi surse de energie, combustibil și materii prime”.

Dezvoltînd această orientare, Programul-directivă de cercetare și dezvoltare în domeniul energiei pune la loc de frunte „intensificarea preocupării pentru utilizarea energiei soarelui, vîntului, apelor termale, biomasei, asigurînd reducerea tot mai accentuată a ponderii hidrocarburilor în consumul energetic al țării”. În acest scop, pe baza realizărilor obținute pînă în prezent, se vor urmări perfecționarea tehnologiilor de captare și folosire a energiei soarelui, tipizarea soluțiilor existente și elaborarea de noi soluții în domeniul construcțiilor și arhitecturii solare, realizarea de



sisteme eficiente pentru transformarea energiei solare în căldură cu parametri ridicați, inclusiv pentru conversia în energie electrică; se vor intensifica, de asemenea, cercetările privind stocarea curentă și sezonieră a căldurii solare. Într-o vedere cuprinzătoare, Programul directivă asociază cercetărilor solare directe proiecte în domeniul valorificării energiei vântului și valurilor, a biomasei, hidrogenului și pilelor de combustie, al altor tehnologii noi, de perspectivă. Prefigurând contribuția surselor noi de energie, inclusiv solare, alături de resursele de energie recuperate, la producția de energie, programul indică o pondere de 5 la sută în anul 1985 și 10 la sută în 1990, subliniind necesitatea ca, spre sfârșitul secolului, contribuția energiilor neconvenționale să reprezinte cel puțin 20 la sută.

Potențialul energiei solare în țara noastră este considerabil. Estimări moderate, bazate exclusiv pe tehnologiile actuale, îl cifrează la 8 ÷ 10 milioane tone combustibil convențional pe an și nu există nici o îndoială că progresul tehnic va majora această presupunere. În zonele ce dispun de o însorire mai mare de 2000 ore pe an, pe un kilometru pătrat de teritoriu se pot obține cca 80 mii tcc pe an.

Rod al cercetărilor întreprinse cu începere din 1974, prima generație de echipamente și soluții tipizate solare este în curs de generalizare. Ele vor furniza deocamdată, mai ales apă caldă și aer cald pentru utilizări industriale, agricole sau gospodărești. Operînd în registrul temperaturilor relativ joase — pînă la 150°C, soarele va avea totuși de cucerit un important spațiu în consumul de energie primară al țării. Într-adevăr, după estimările actuale, nevoile de căldură de temperaturi joase ce nu se acoperă prin termoficare vor continua să solicite în deceniul următor peste 15 la sută din consumul de energie primară al țării. Urmărind introducerea accelerată și generalizarea soluțiilor „de primă generație” prin planul național unic, programele solare urmăresc, în continuare, perfecționarea acestora în sensul creșterii randamentelor de conversie și a eficienței economice, în principal prin reducerea consumurilor de materiale energointensive înglobate în echipamente și instalații — aluminiu, sticlă, masele plastice. Se apreciază că, pînă la sfârșitul secolului costul energiei de origine solară și al investiției specifice va putea fi diminuat de cîteva ori, în timp ce, inevitabil, indicatorii economici specifici ai consumului energetic de hidrocarburi se vor deteriora în continuare, ceea ce sporește atractivitatea energiei solare.

Concomitent, se va accentua tendința de realizare a unor sisteme mai perfecționate, bazate pe concentrarea radiației solare, pe conversia directă a energiei luminii în energie electrică sau chimică — încorporarea în combustibili ca hidrogenul, alcoolii, hidrocarburile sintetice.

Dezvoltarea altor surse noi de energie ca energia vântului, biogazul, conversia energetică a deșeurilor, ce sporesc potențialul noilor energii în țara noastră cu încă 4 ÷ 5 milioane tone combustibil convențional pe an precum și a unor tehnologii legate de sursele electrochimice, pompele de căldură, tehnologiile criogenice și altele, inițiate distinct în anii anteriori, va cunoaște o firească integrare cu energia solară, de care sînt legate prin rațiuni naturale, tehnico-științifice sau economice. În întîmpinarea acestei tendințe, coordonarea profesională unitară a introducerii noilor surse de energie în țara noastră a fost atribuită unei unități



nou create — Institutul de energetică chimică și biochimică, din componența Institutului central de cercetări chimice. S-au creat astfel premisele unei abordări mai sistematice a unor sarcini de amploare sporită, în care activitatea de cercetare, diversă, predominant multidisciplinară, întinsă pe un larg registru — de la investigația fundamentală la proiectarea de aplicații, își găsește o rapidă transpunere într-un program riguros de investiții cu obiective specifice, pe întreg teritoriul țării.

Utilizarea energiei solare a devenit o realitate. Între prezentul ei, deocamdată modest și potențialul ei, considerabil, se vor înscrie ani rodnici de muncă, în care producătorii și consumatorii de energie vor conlucra la pătrunderea ei tot mai eficientă în practică, alături de celelalte resurse energetice mobilizate în serviciul dezvoltării multilaterale a țării. Energia solară se ridică în orizontul energetic al deceniului al noulea însoțită de o constelație de promisiuni și, totodată, de probleme. Sarcina de a le rezolva, înscrisă în politica energetică pe termen lung a țării în strînsă legătură cu obiectivul asigurării capacității de independență energetică este demnă de efortul și pasiunea numeroaselor generații ce vor contribui, de acum înainte, la înfăptuirea marelui proiect al cuplării definitive a societății omenești la resursele reînnoibile, la ineputizabila și neconținută prefațare cosmică a energiei.

### Bibliografie

- NICOLAE CEAUȘESCU, *Raport la Congresul al XI-lea al Partidului Comunist Român*, Edit. politică, București, 1975.
- NICOLAE CEAUȘESCU, *Raport la cel de-al XII-lea Congres al Partidului Comunist Român*, Edit. politică, București, 1979.
- \* \* \* *Programul Partidului Comunist Român de făurire a societății socialiste multilateral dezvoltate și înaintare a României spre comunism*, Edit. politică, București, 1974.
- \* \* \* *Programul — directivă de cercetare și dezvoltare în domeniul energiei pe perioada 1981—1990, și orientările principale pînă în anul 2000*, Edit. politică, București, 1979.
- \* \* \* *Programul — directivă de cercetare științifică, dezvoltare tehnologică și de introducere a progresului tehnic în perioada 1981—1990 și direcțiile principale pînă în anul 2000*, Edit. politică, București, 1979.
- Consiliul Național pentru Știință și Tehnologie, *Programul pentru cercetarea și valorificarea de noi surse de energie*, aprilie 1974.
- Consiliul Național pentru Știință și Tehnologie, *Programul pentru gospodărirea și dezvoltarea resurselor energetice*, mai 1978.
- J. PERCEBOIS, *L'énergie solaire — perspective économiques*, Ed. du CNRS, Paris, 1975.
- H. LUSTIG, *L'énergie solaire : état de la technique et technique des Etats*, UNESCO, Paris, februarie 1974 (ref., SC/WS/575).
- G. NEBBIA, *Considérations économiques sur l'énergie solaire*, Bull. du COMPLES, no. 13, decembrie 1977.
- I. PEYCHES, *Le Soleil au service de l'Homme*, (materialele congresului) Paris, 2—6 iulie 1973.
- \* \* \* *L'énergie solaire — de la recherche appliquée aux utilisations pratiques. Perspectives d'avenir*, Service d'Information et de Diffusion du Premier Ministre, Ministère de l'Industrie du Commerce et de l'Artisanat, Délégation aux Energies Nouvelles, Paris, octombrie 1977.



- D. BEHRMAN, *Solar Energy — the Awakening Science*, Little, Brown and Comp., Boston, Toronto, 1976.
- V. A. BAUM, R. BAIRAMOV, *Prospects of Solar Stills in Turkmenia*, *Solar Energy*, 1 (1966).
- A. LOVINS, *Soft Energy Paths : Towards a durable peace*, FOE Ballinger, Cambridge, Ma., U.S.A. (Penguin, UK) 1977.
- Institutul Național pentru Creație Științifică și Tehnică, *Cercetări privind conversia energiei radiației solare în energie termică (de joasă temperatură), și mecanică*, raport tehnic, contract CNST 88 (1975).
- I. URSU, *Energia și fizica*, Lucrările celei de a III-a Conferințe generale a Societății Europene de Fizică, București, 1976.
- I. URSU, *Energetica și progresul tehnico-științific în următoarele trei decenii*, în vol. *Energia în următoarele trei decenii*, Edit. Academiei, 1979.
- I. URSU, D. VAMANU, *Motivation and attitudes in the long-term planning of alternative energy systems*, Proc. Conf. on Long-Term Energy Resources, UNITAR—UNO, Montreal, Canada, decembrie 1979.



## STRATEGII ȘI OPȚIUNI ENERGETICE SOLARE

Adrian V. GHEORGHE\*)

### Solar energy strategies and options

Promoting solar energy implies a complex process concerning the interplay among different energy solutions (e.g. coal, hydro, nuclear) available in specific circumstances. Special attention is given to solar economy; the total cost structure includes also intermitence cost for solar equipments. Options and solar energy strategies are to be viewed in the framework of decision and system analysis: the final decision for solar energy future is beyond the optimal mathematical decision.

\*) Institutul politehnic București.

Dacă energia solară ar urma să fie folosită pe o scară largă astfel încât să acopere o parte importantă din necesarul de energie al viitorului, evoluția necesarului de „arie solară” va fi de domeniul milioanele de  $\text{km}^2$ . Aria solară ar reprezenta suprafața necesară pentru conversia energiei solare în cazul unor multiple combinații privind populația și necesarul de energie pe locuitor (vezi tabela 1). În tabela 2 sînt prezentate date referitoare la utilizarea suprafețelor de teren ale globului utilizate în vederea conversiei energiei solare.

Într-o publicație recentă a Băncii Mondiale se acordă atenție specială și energiei reînnoibile. Se spune că „energia reînnoibilă va avea un rol considerabil pentru țările în curs de dezvoltare și va ocupa prin urmare un rol important în programul energetic în cadrul băncii. Programul propus va fi acordat cu potențialul diferitelor resurse energetice reînnoibile pe termen mediu și cu posibilitatea diferitelor tehnologii care urmează să fie aplicate în țările în curs de dezvoltare”.

Transformările energetice multiple derivate din energia solară integrează transformări naturale, cu introducerea ulterioară de mașini specializate în conversia energiei solare sau a altor forme de energie (de exemplu: biomasă, biogaz) în energie electrică sau termică. În figura 1 este prezentat schematic lanțul transformărilor energetice al conversiei energiei solare în alte forme de energie, cu includerea în schemă a proceselor de stocare a formelor intermediare de energie.

Una din problemele cele mai importante în demonstrarea, introducerea și dezvoltarea diverselor tehnologii de conversie a energiei solare pentru a le face în cel mai



scurt timp competitive din punct de vedere economic, al performanțelor tehnice de sistem de energie și din punct de vedere al efectelor asupra mediului ambiant este cea a timpului. Penetrarea unei noi tehnologii energetice de tip solar necesită decenii pentru a deveni competitivă pe scară

Tabela 1

## Indicatori energetici globali

	Populația 10 <sup>9</sup> locuitori	Energie locuitor (kW termici)	Energie mondială TW (termici)	Aria solară 10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup>
Astăzi	4	2	7,5	0,15
Anul 2050	10	5	50,0	1,0
Peste 2050	20	20	400,0	8,0

largă în condițiile epuizării resurselor fosile cât și al existenței și diversificării filierelor energetice nucleare. Pe termen lung, pe de altă parte, va exista o acută competiție între energia de fisiune și energetica nucleară

Tabela 2

## Utilizarea terenurilor pentru conversia energie solare

Grad de utilizare	Tipuri de terenuri	10 <sup>6</sup> km	% din total
Utilizate integral :	— așezări umane	0,4	0,3
	— teren arabil	13,0	8,8
Utilizate parțial :	— pășuni	21,3	14,3
	— păduri	35,3	23,8
Neutilizate :	— impracticabile	3,9	2,6
	— deșeuri, munți, terenuri scoase din uz	62,1	41,8
	— insule, regiuni ne-locuite și polare	12,5	8,4

în general. În ceea ce privește energetica nucleară sînt cunoscute aspectele legate de securitatea în funcționare a acestor sisteme cât și preocupările opiniei publicului, a guvernelor, a celor implicați în ingineria nucleară pentru a diminua riscul tehnologiilor nucleare.

Într-un studiu al Institutului de cercetări energetice americane EPRI se menționează că „... realizarea de surse energetice alternative pentru viitor necesită mai mult decît cîteva idei bune. Noile tehnologii necesită timp pentru a se maturiza”. O nouă tehnologie trebuie să evolueze prin patru etape de dezvoltare, începînd cu stadiul de laborator și terminînd cu faza comercială. Costurile asociate fiecărei etape sînt în creștere de la una la alta. Etapele sînt de : fezabilitate științifică a inovației tehnologice, fezabilitate inginerească, fezabilitate comercială, integra-



rea noii tehnologii în structura sistemului energetic și creșterea semnificativă a aportului industrial. Rudman și Whipple de la EPRI arată :

„Experiențe recente arată faptul că timpul necesar ca o nouă tehnologie să atingă o utilizare semnificativă în cadrul industriei energetice

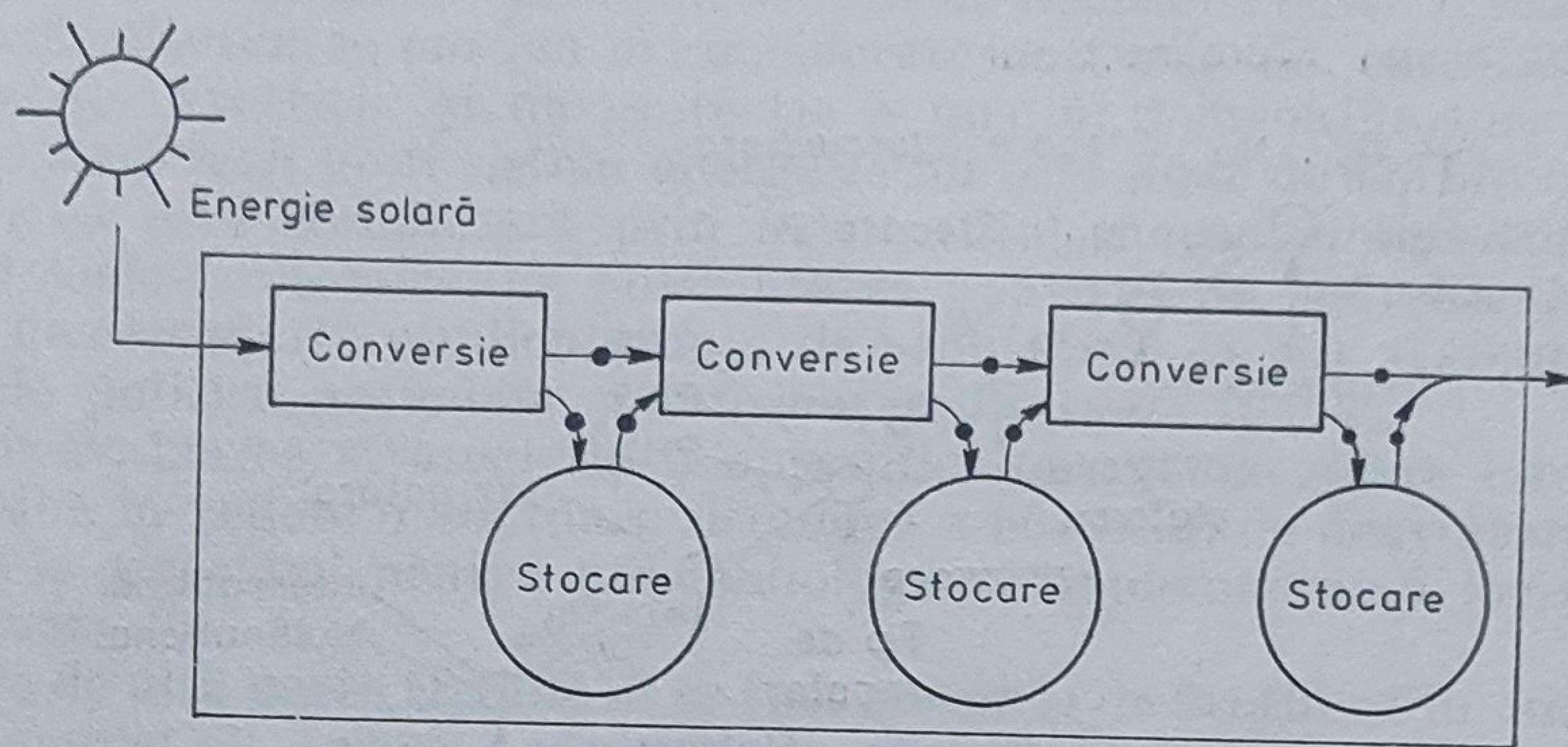


Fig. 1. — Lanțul conversiei energiei solare.

este acum aproximativ de 30 ÷ 40 ani, semnificativ mai mult decât în perioada în care industria era mult mai tânără. Planificarea introducerii surselor alternative de energie pentru a produce energie în viitor face absolut necesar să se țină seama de acest *decalaj de timp*. În cele mai favorabile circumstanțe, dezvoltarea și adoptarea noilor surse de energie necesită timp de realizare și este costisitoare”.

În figura 2 se prezintă fazele de dezvoltare pentru tehnologii energetice viitoare cu exemplificarea traiectoriei evoluției energeticii solare vizavi de tehnologiile energeticii nucleare.

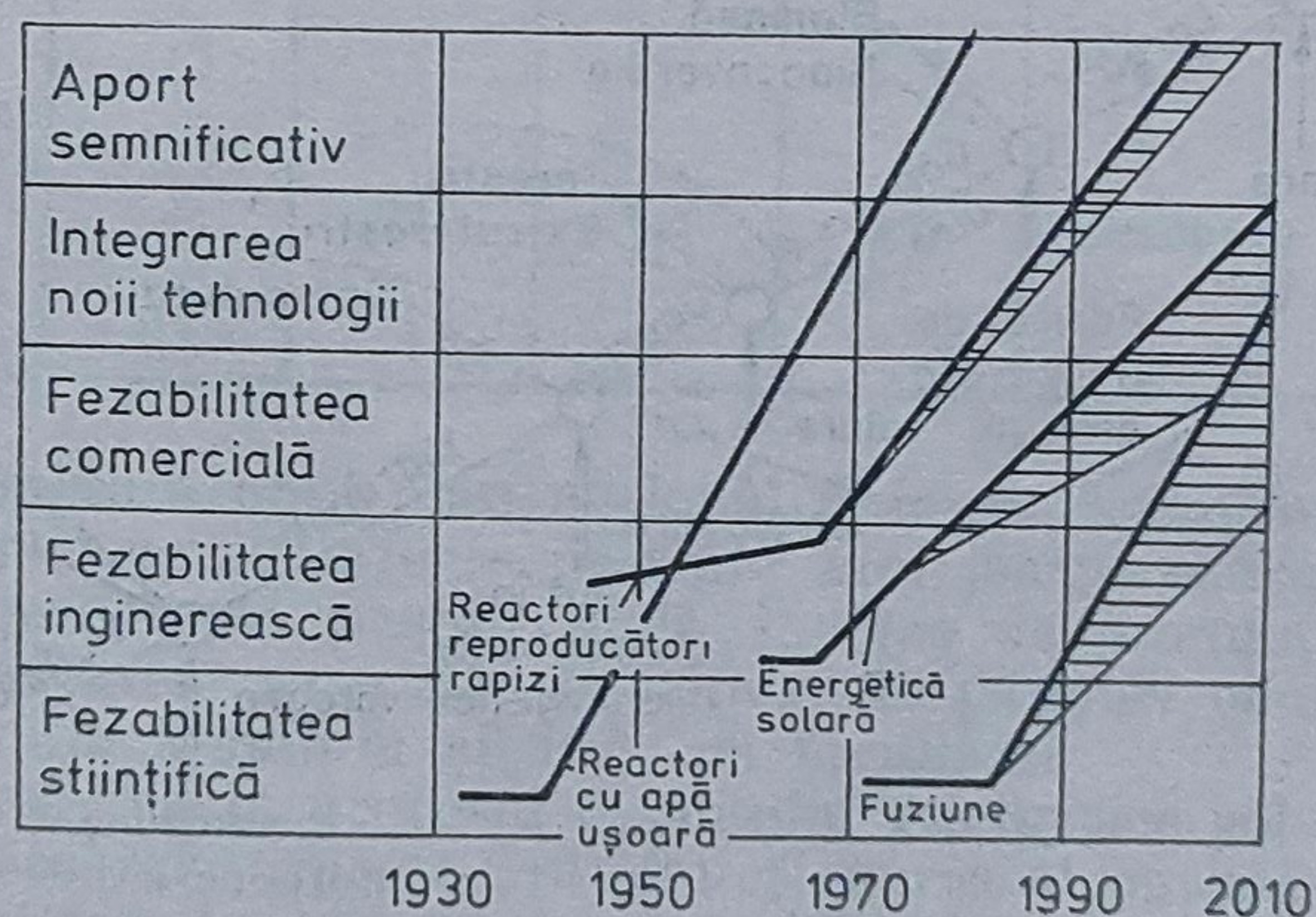


Fig. 2. — Fazele de dezvoltare a unor tehnologii energetice solare.

Referitor la problematica energeticii solare, studiul EPRI arată că : „Energia solară trebuie să fie înțeleasă că implică două grupe diferite de tehnologii, fiecare presupunând elemente specifice de decalaje de timp (întârziere). Pe de o parte unitățile solare pentru utilizări rezidențiale,



apă caldă și încălzire sînt deja disponibile comercial; bariere concrete ale extinderii acestor tehnologii se datorează faptului că investițiile energetice se deplasează de la întreprinderile energetice specializate la posesorii acestor noi tehnologii. Pe de altă parte tehnologiile solare pentru sistemul

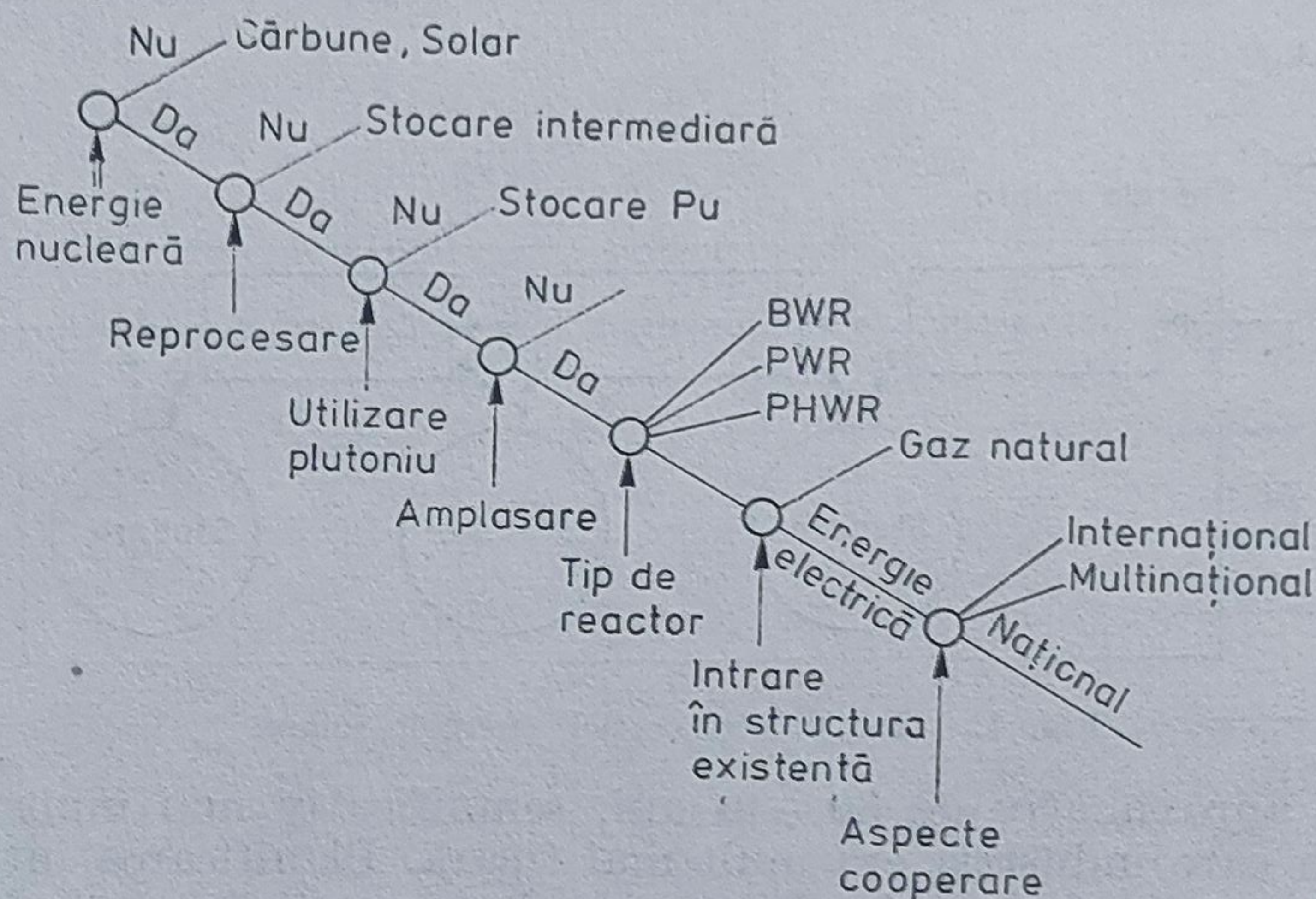


Fig. 3. — Arbore de decizie pentru promovarea diverselor tehnologii energetice.

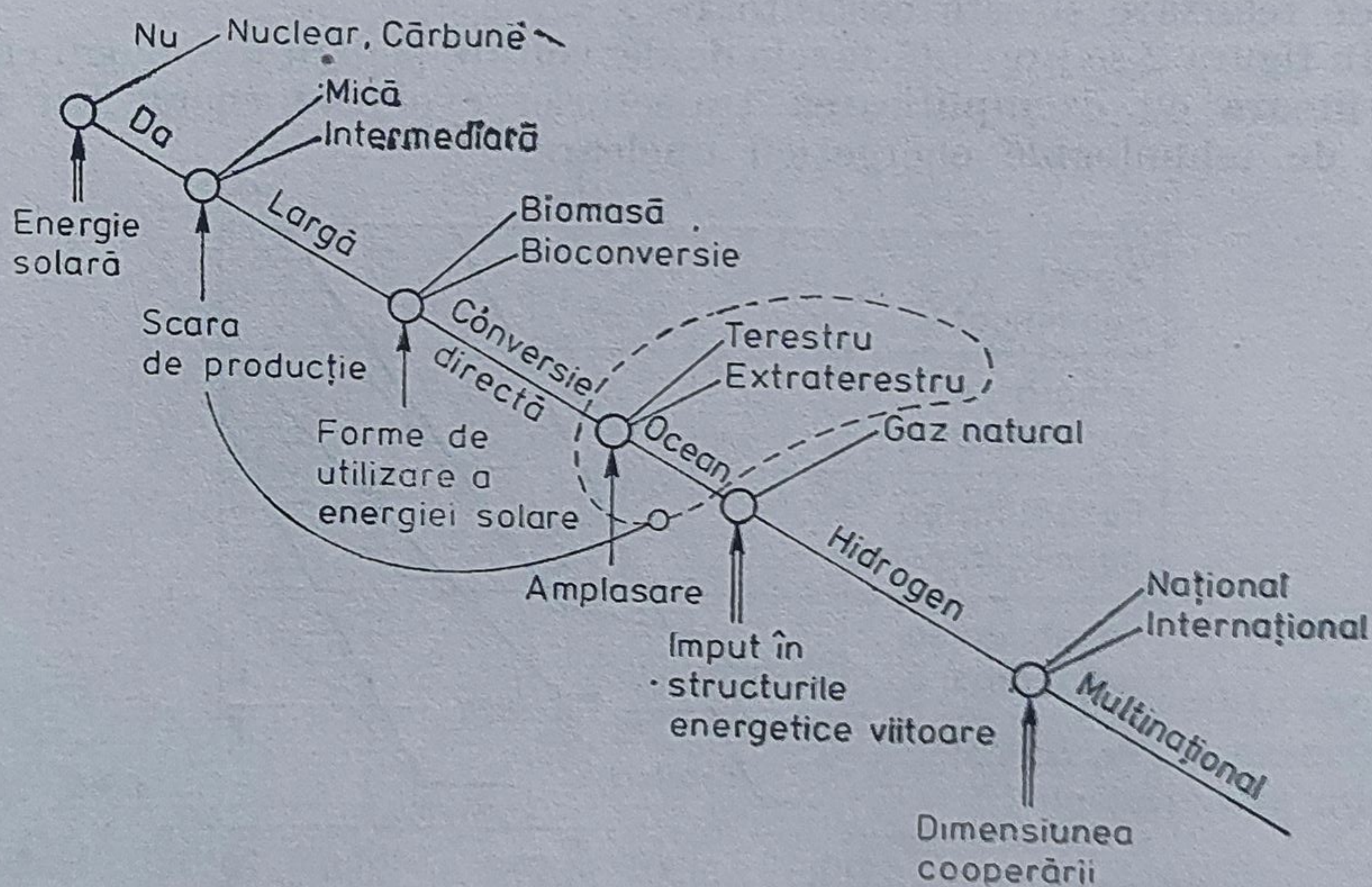


Fig. 4. — Arbore de decizie pentru promovarea tehnologiilor energetice solare.

energetic nu sînt încă mature; la ora actuală se promovează introducerea instalațiilor de demonstrație ...

... Implicațiile unui inevitabil decalaj de timp asociat cu adoptarea oricărei noi tehnologii sînt sobre. Deciziile energetice trebuie făcute cu mult în avans atunci cînd se datorește să se evite o criză ... Dacă bene-



ficiile de la noile tehnologii (energetice) urmează să fie culese în secolul următor activitățile corespunzătoare de cercetare și dezvoltare trebuie coordonate începînd de astăzi”.

Scenariile competiției energiei nucleare și solare se pot vizualiza într-o formă simplificată utilizînd arborii de decizie. Pentru o analiză mai complexă, ulterior se pot lua în considerare costurile de cercetare — dezvoltare, de investiții și de protecție a mediului înconjurător. Alegerea finală a structurii unui sistem energetic nu este doar de tip *decizie matematică*; ea este completată prin intermediul mecanismului complex al deciziei socio-economice, de posibilitatea apariției de noi tehnologii energetice, de atitudinea publicului față de problemele de risc și securitate, de opțiunile politice naționale și internaționale (vezi fig. 3).

În evaluarea strategiei și a opțiunilor energetice solare este necesar să se aibă în vedere o abordare sistemică a efortului de dezvoltare și promovare a cercetării pentru noi tehnologii și implementarea lor pe scară largă (vezi fig. 4).

Pe de altă parte trebuie să se țină seama și de faptul că în implementarea energeticii solare necesarul de materiale (vezi tabela 3) trebuie

Tabela 3

## Materiale încorporate în captatorii solari

Tipul captatorului solar	Aluminiu, kg/m <sup>2</sup>	Oțel, kg/m <sup>2</sup>	Geam, mp/m <sup>2</sup>	Poliuretan, kg/m <sup>2</sup>	Poliester armat cu fibră de sticlă, kg/m <sup>2</sup>	Material plastic, kg/m <sup>2</sup>	Energie înglobată, kgcc/m <sup>2</sup>
1. Captator solar cu placă absorbantă din aluminiu	7,5	9	1,1	2,2	—	—	122
2. Captator solar cu placă absorbantă din oțel	—	22	1,1	2,2	3,2	—	88
3. Captator solar cu focalizare	1,6	14,6	—	—	—	0,8	57

articulat în structura unui plan național unic de dezvoltare economico-socială. Pentru exemplificare se prezintă mai jos necesarul de cantități de materiale principale pentru două ipoteze de producție de panouri solare cu următoarea repartitie pe tipuri de panouri captatoare: 70 % din oțel, 20 % din aluminiu și 10 % cu focalizare.

Este necesar ca în procesul opțiunilor energetice solare să se aibă în vedere următoarele aspecte: (a) funcționarea și optimizarea tehnico-economică a sistemelor energetice ce au incorporate în structura lor elemente de conversie solară; (b) integrarea sistemelor energetice solare în arhitectura mediului înconjurător; (c) dinamica penetrării energeticii solare în baza energetică globală; (d) principii economico-ingineresti de evaluare tehnologică; (e) reziliența alternativelor energetice solare în condiții de incertitudine, discontinuitate și transformări topologice (de structură) ale mediului tehnologic-științific-politic.



Energia radiației solare interceptate de sistemul Pământ — Atmosferă la nivelul superior al atmosferei este de  $0,3 \text{ kWh/cm}^2$  respectiv o putere de  $348 \text{ W/m}^2$  din care 77 % este reflectată în exteriorul sistemului iar restul de 23 % este recepționată de suprafața terestră.

Utilizarea energiei solare pe scară largă în condiții economice se întrevade astăzi prin intermediul următoarelor tehnologii: conversie solară termoelectrică, conversie fotovoltaică, conversia energiei termice

Cantități de materiale necesare	Suprafața de panouri solare	
	5,3 mil. $\text{m}^2$	6,5 mil. $\text{m}^2$
Oțel	99 000 t	121 000 t
Aluminiu	8 800 t	10 800 t
Poliuretan	10 500 t	12 900 t
Poliester armat cu sticlă	11 900 t	14 600 t
Polietilenă	420 t	515 t
Geam securizat	5 250 000 $\text{m}^2$	6 435 000 $\text{m}^2$
Oțel în rețele și eșafodaje	116 000 t	142 000 t
Echipamente auxiliare		
— pompe de 2,2 kW		
— pompe de 2,2 kW	21 000 buc	26 000 buc.
— schimbătoare de căldură	159 000 $\text{m}^2$	195 000 $\text{m}^2$
— rezervoare de 10 $\text{m}^3$ capacitate	26 000 $\text{m}^2$	32 000 $\text{m}^2$

oceanice, bioconversia, conversia energiei vînturilor, centrale solare orbitale. În lucrarea de față se prezintă aplicații ale sistemelor energetice solare enumerate mai sus. Energia solară trebuie să fie convertită în alte forme de energie pentru a fi ulterior utilizate. Forme indirecte ale energiei solare (ex. vînt, valuri) urmează și ele să fie utilizate prin transformarea în energie electrică sau alte forme de energie.

Într-o reprezentare schematică generalizată a unui sistem de conversie a energiei solare blocurile de bază ce urmează a se utiliza sînt: conversia energiei, stocarea energiei, transportul energiei, structura hard/soft pentru producerea și utilizarea energiei (ex. : automatizare, convertoare AC/DC, microprocesoare, conducerea umană și prin calculator).

O problemă importantă referitoare la utilizarea în viitor a energiei solare se referă la aspectele economice ale acesteia, la includerea în structura costurilor totale a costurilor legate de înținerența acesteia resurse energetice.

Astfel, costul total al utilizării energiei solare este dat de suma costurilor colectorului solar, a echipamentelor de stocare a energiei și a costului de intermitență. Natura celui din urmă cost depinde de faptul că sistemul solar este complet redundant, independent sau parțial redundant.

Costul de intermitență reprezintă în fapt costul energiei auxiliare pentru cazul sistemelor complet redundante. Atunci cînd se consideră un asemenea sistem trebuie să se țină seama atît de cheltuielile legate de existența sistemului auxiliar cît și de cheltuielile cu combustibil generate de funcționarea normală a acestuia. Costul total al combustibilului se



calculează ca produsul dintre deficiența de energie solară și costurile efective ale combustibilului. Deficiențele de energie solară depind de mărimea sistemului energetic solar. Dacă se definește fracțiunea de deficiență ca procentul din totalul necesar de energie termică nesatisfăcut de sistemul solar, atunci această mărime descrește cu creșterea suprafeței colectorului solar și cu capacitatea de stocare a acestuia (vezi fig. 5). În figurile 6—9 se prezintă modul în care variază costurile colectorului solar, a stocării, a combustibilului auxiliar și a costului total al energiei ca funcție de

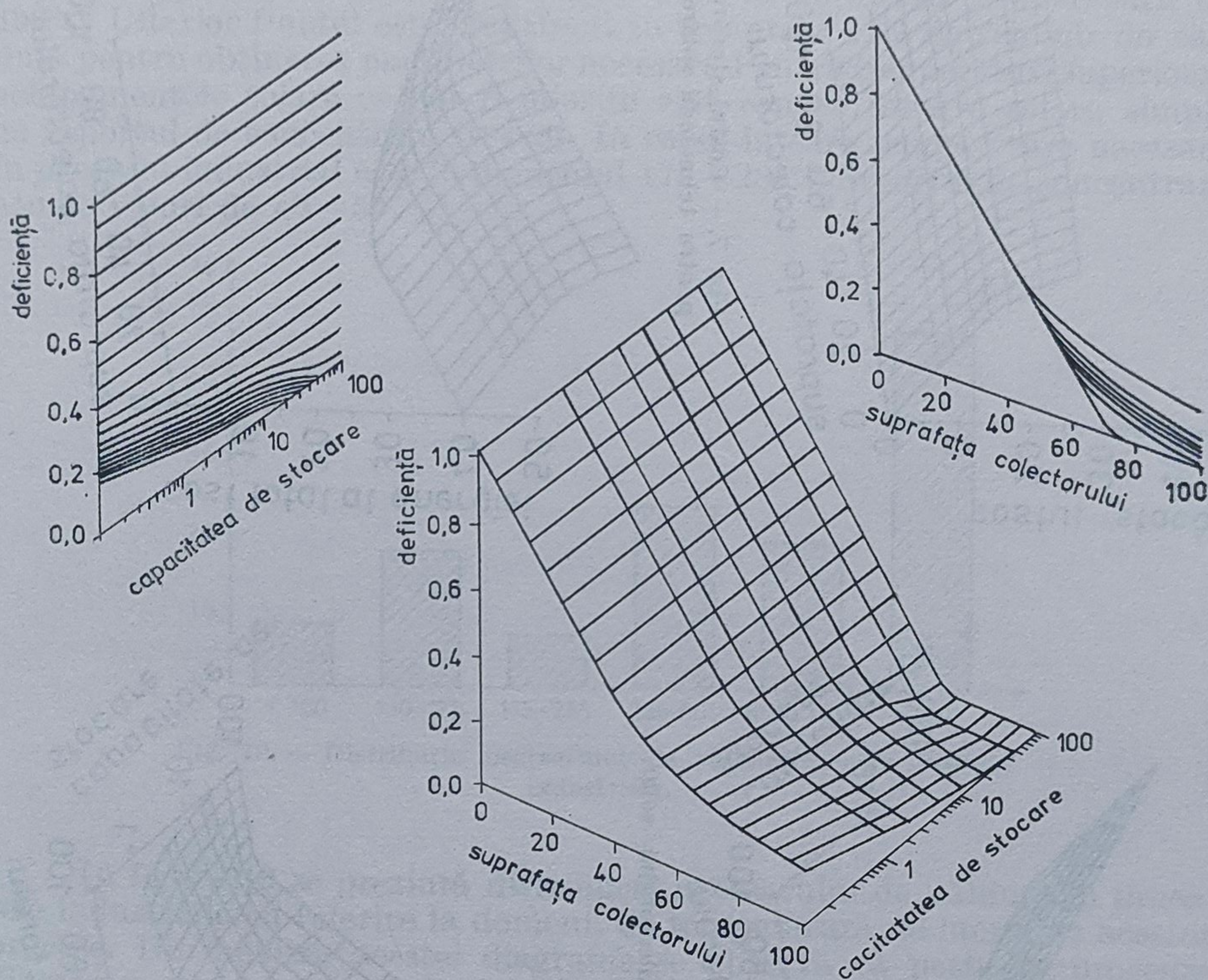


Fig. 5. — Relații care se stabilesc între diferiți parametri ai tehnologiilor solare.

aria colectorului și a capacității de stocare a sistemului. Pentru sistemele solare descrise mai sus se constată că „frecvența și durata deficienței de energie solară depind de mărimea sistemului”.

Calitatea termodinamică a energiei solare dă posibilitatea obținerii de temperaturi foarte înalte, în jur de  $3\,000^{\circ}\text{C}$  (de exemplu cazul cuptoarelor solare franceze de la Odeillo). Se pot obține temperaturi și mai mari utilizând cantități de substanțe absorbante alături de lentile clasice, Fresnel, accesibile la prețul de doi dolari.

Proiecte americane și franceze propun centrale helioelectrice de circa 100 MWe utilizând circa 1 500 oglinzi fiecare cu o suprafață de  $40\text{ m}^2$  și cu un turn central de 260 m.



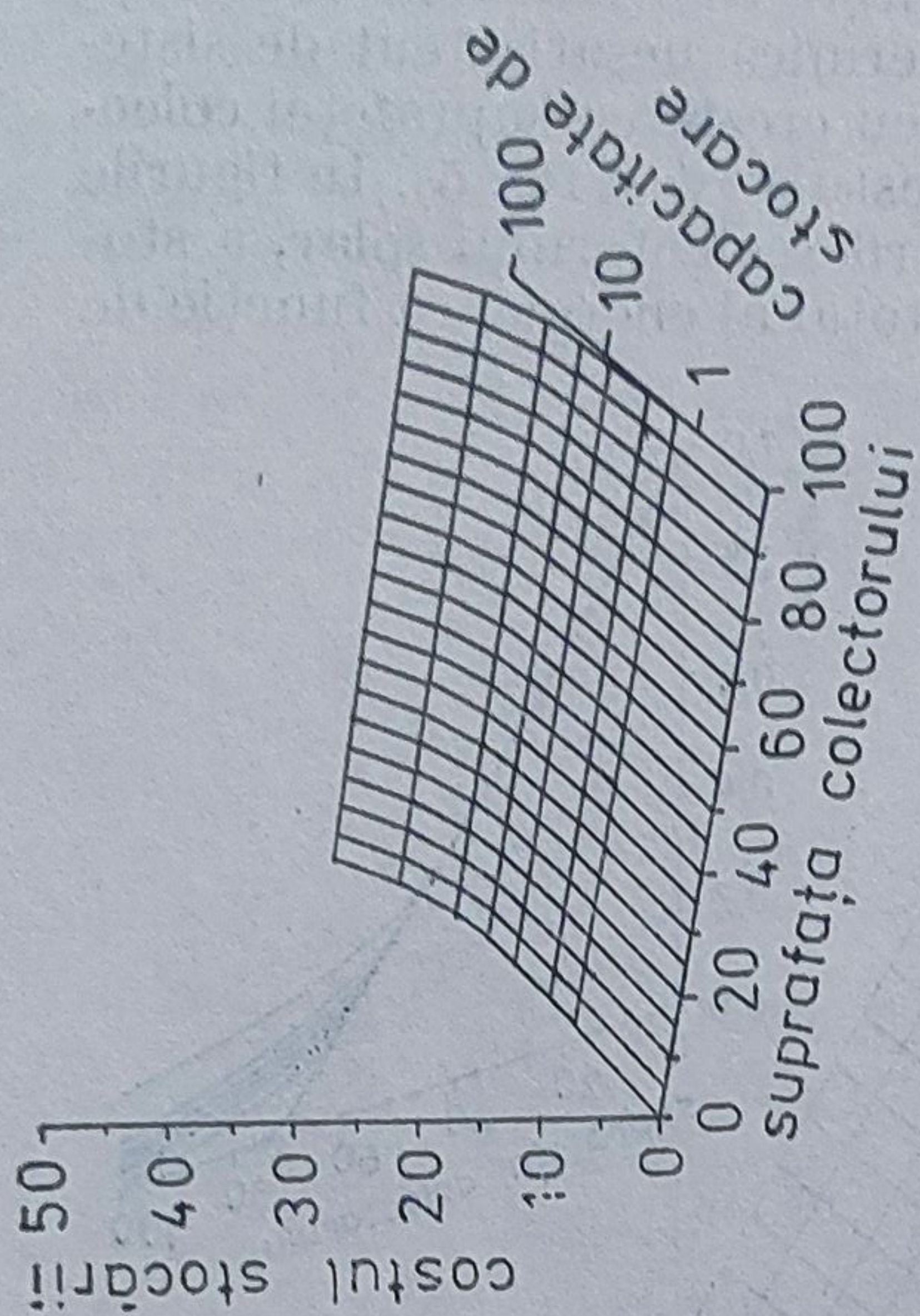


Fig. 7. — Costul stocării pentru tehnologii solare.

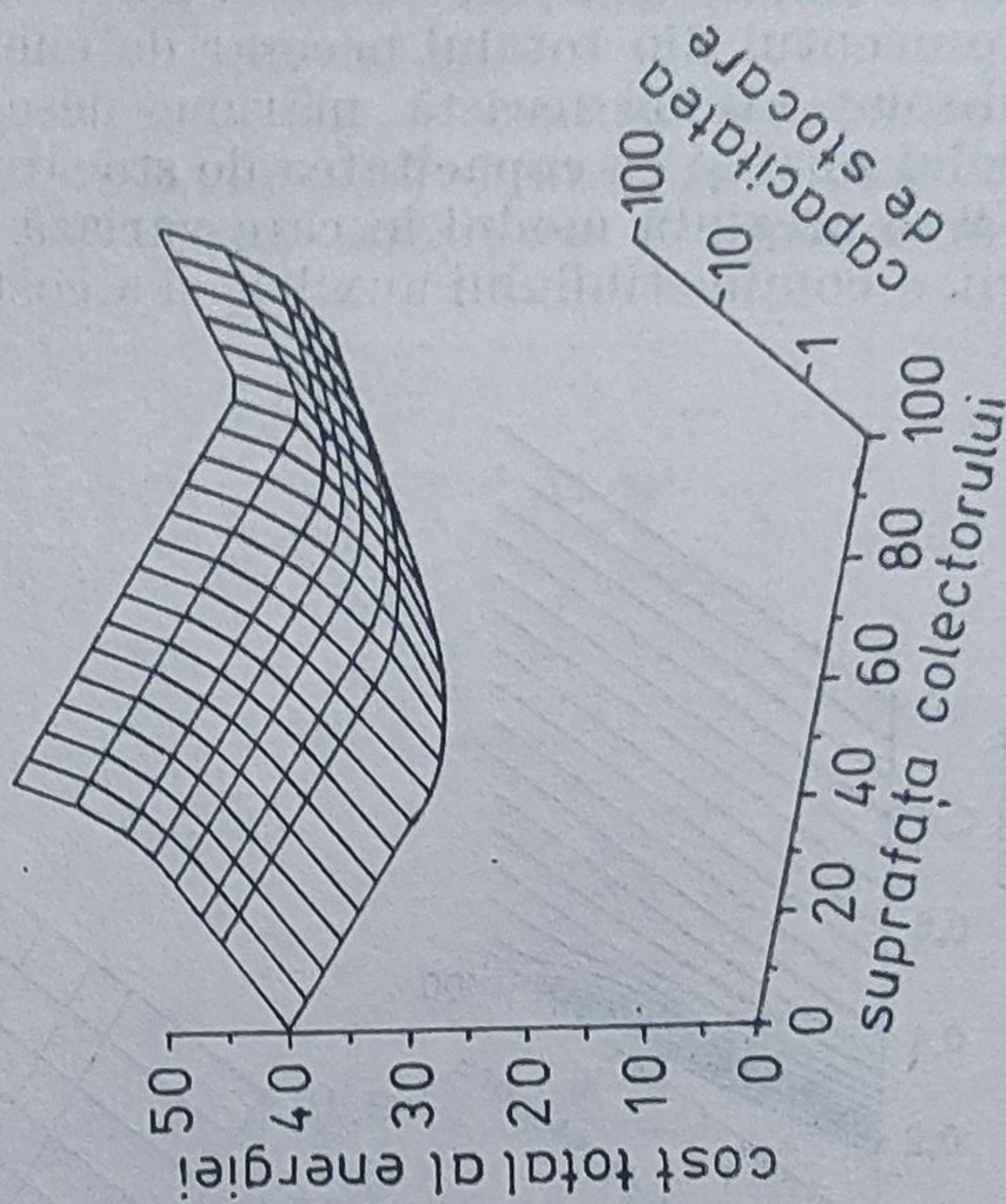


Fig. 9. — Costul total al energiei pentru tehnologii solare.

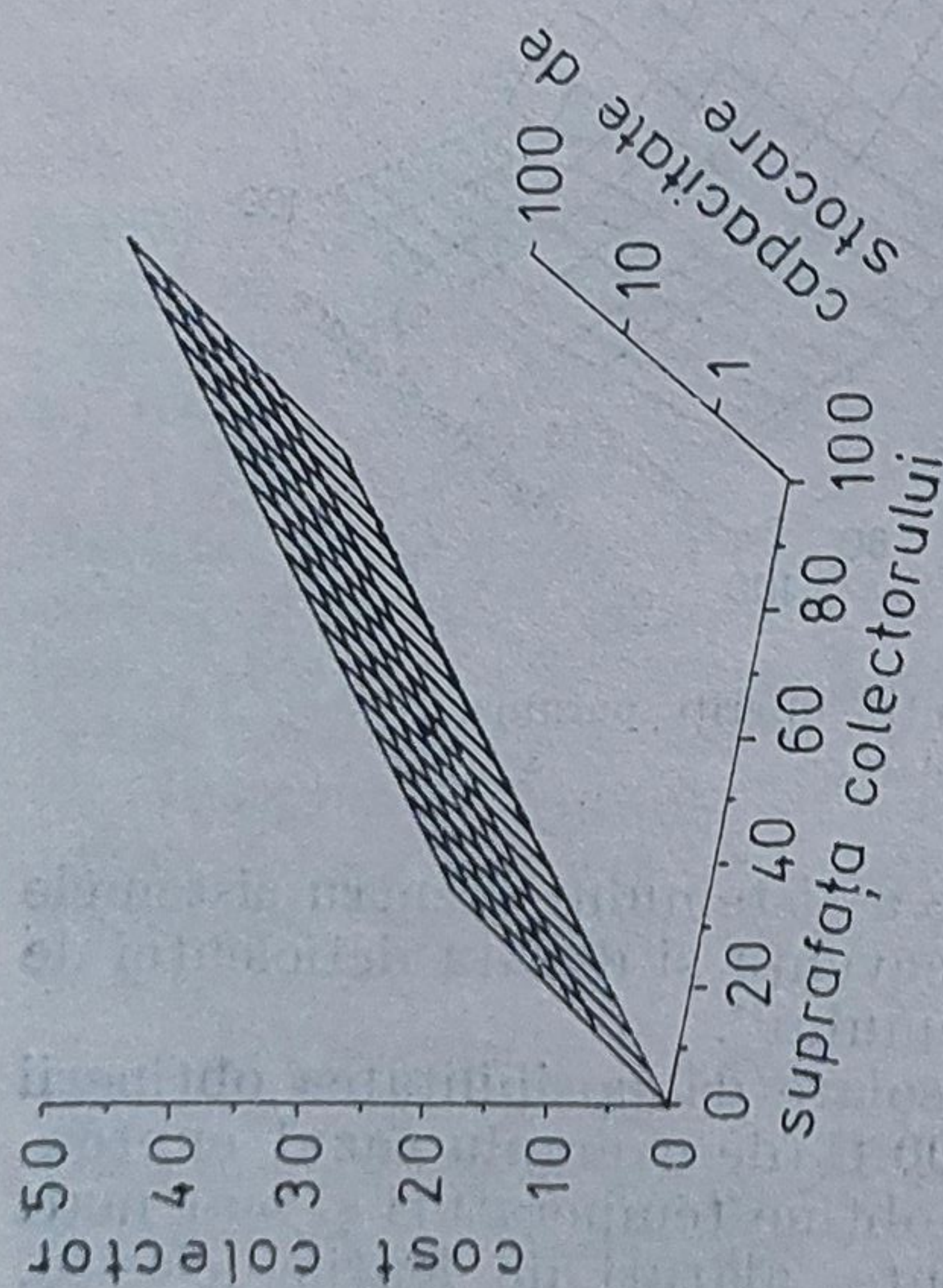


Fig. 6. — Costul colectorului solar.

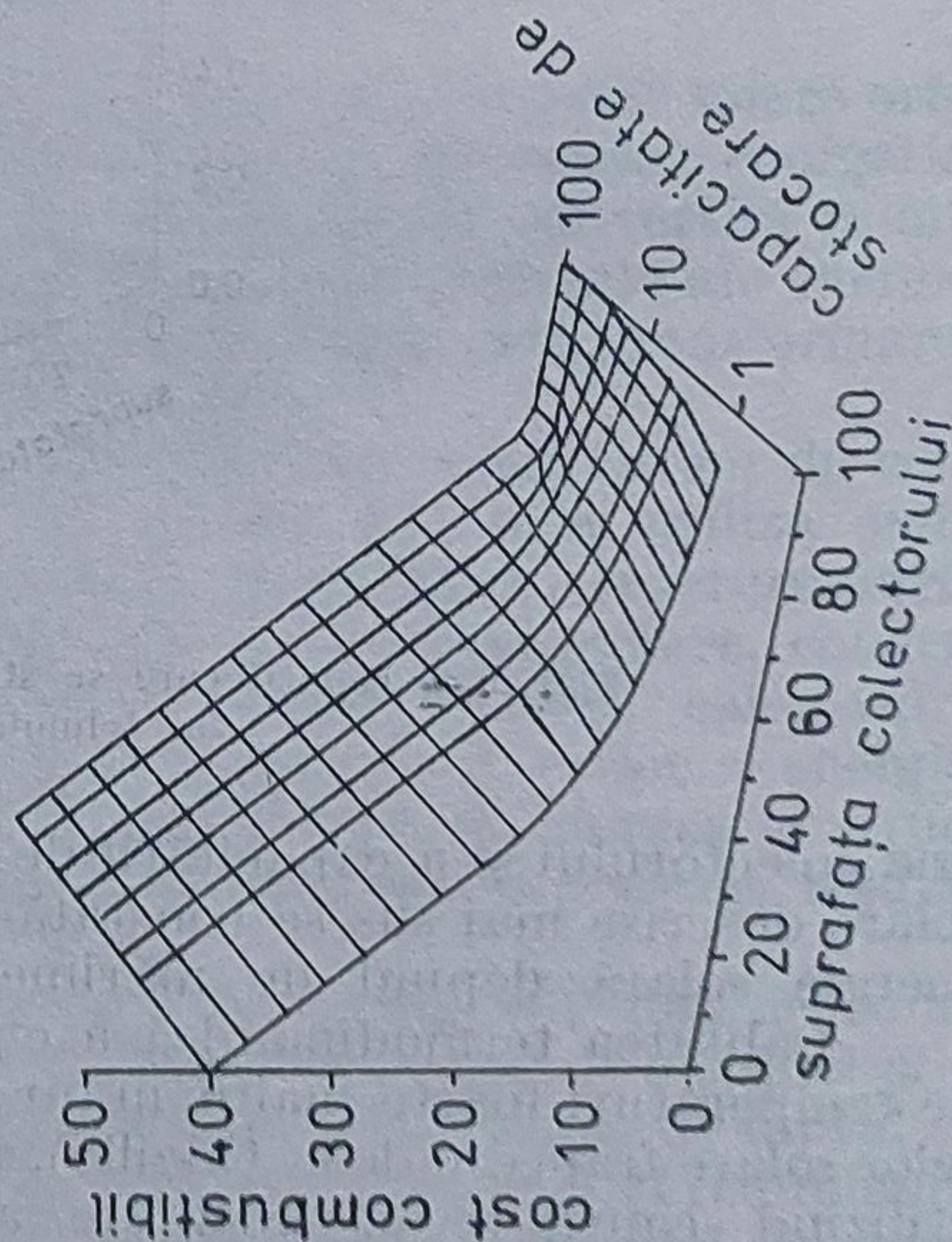


Fig. 8. — Costul combustibilului.



Este binecunoscut faptul că utilizarea directă a energiei solare pentru procesele industriale va contribui la reducerea importurilor naționale de petrol. Pe de altă parte trebuie însă evidențiat că există bariere tehnice și economice pentru rezolvarea acestor probleme. O multitudine de procese industriale necesită temperaturi de peste  $600^{\circ}\text{C}$ . Alte procese industriale solicită abur saturat de presiune joasă în jurul temperaturii de  $175^{\circ}\text{C}$ . Pentru aceste cerințe se pot utiliza captatorii solari plani prin utilizarea ca mediu de transfer de căldură aerul, apă sub presiune sau ulei într-o primă treaptă de transfer de căldură pînă la obținerea temperaturii de  $100^{\circ}\text{C}$ . Ulterior fluidul este transferat în treapta a II-a de schimb de căldură pentru obținerea parametrilor necesari. Pentru temperaturi superioare echipamentele solare ce pot fi folosite sînt concentratoare solare simple cu raportul de concentrare  $10 \div 20$ . În cazul în care temperatura necesară în procesul industrial este în domeniul  $175 \div 285^{\circ}\text{C}$  raportul de concentrare atinge valori de  $40 \div 50$ .

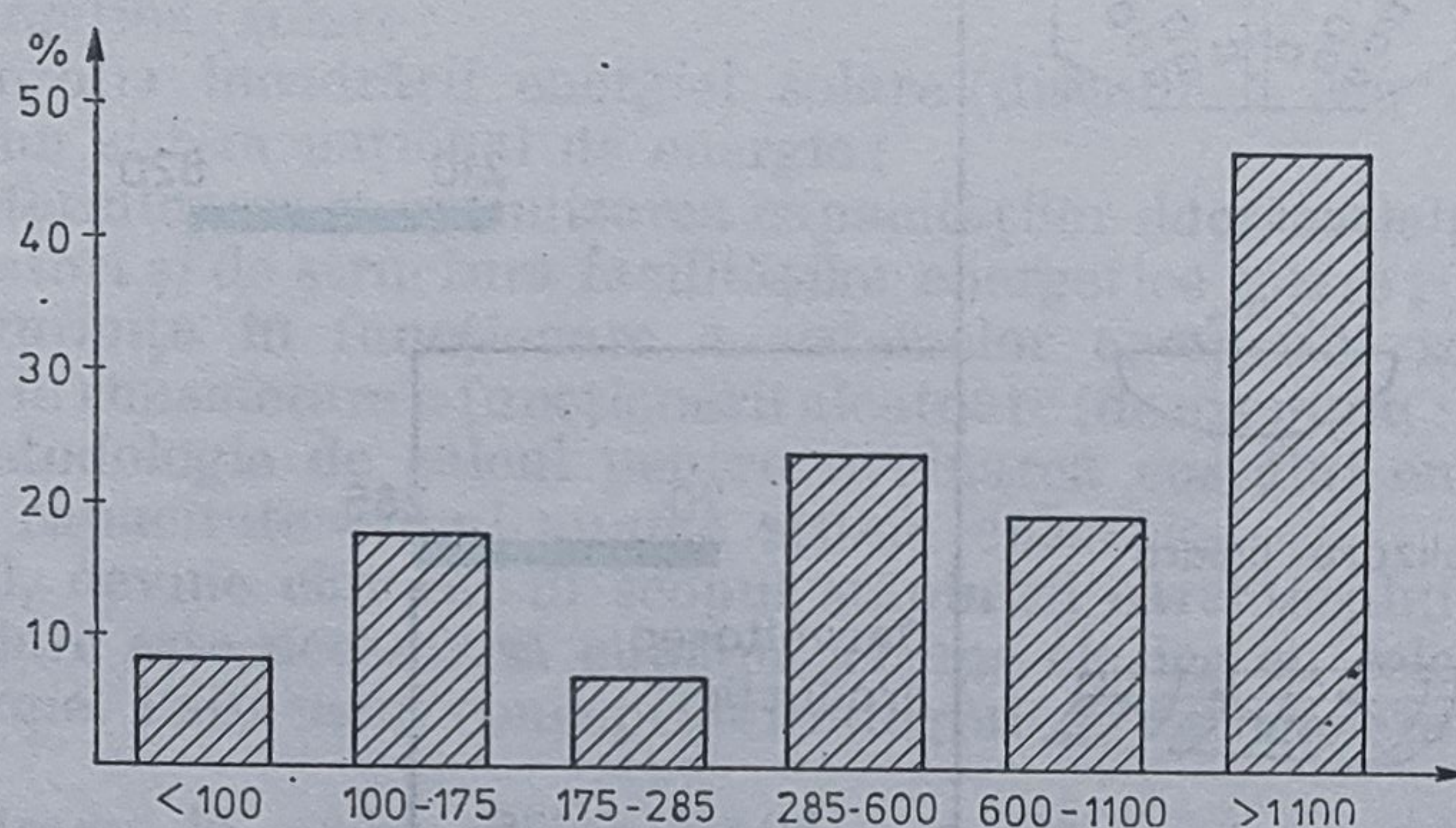


Fig. 10. — Distribuția necesarului de căldură pentru procese industriale.

În figura 10 se prezintă distribuția necesarului de căldură în procesele industriale cu referire la domenii de temperatură de lucru ale acestor procese. Din analiza acestei diagrame se observă că peste 70 procente din necesarul proceselor industriale necesită temperaturi de lucru de peste  $285^{\circ}\text{C}$ .

Temperaturi extreme de peste  $1\,350^{\circ}\text{C}$  în procesele industriale necesită echipamente cu o rată de concentrare de peste 2 000, cunoscute drept sisteme de recepție centralizată (de exemplu sisteme heliostate cu turn central). Fluidul de lucru în aceste sisteme este sodiul lichid.

Într-o lucrare recentă a proiectului de energie solară Friends of the Earth se arată că :

„Energia solară poate, cel puțin în teorie, să alimenteze industria în orice domeniu al necesităților termice ale acesteia, dar sistemele cu necesar de temperatură extrem de înaltă sînt încă în stadiile de prototip și de proiectare. Mult mai multă muncă va fi însă necesară înainte ca costurile lor să fie stabilite. Colectoarele și sistemele de concentrare de temperatură joasă și medie ce lucrează sub  $285^{\circ}\text{C}$  sînt mult mai probabile să devină eficiente din punct de vedere economic într-un viitor foarte



apropiat. Cel puțin 27 procente (N.A. pentru S.U.A.) din necesarul de căldură pentru procesele industriale se încadrează sub această valoare a temperaturii. Tehnologia solară disponibilă poate asigura o cotă de necesar energetic industrial de temperatură înaltă prin preîncălzirea pînă la  $285^{\circ}\text{C}$ , cu o contribuție de pînă la 51 procente pentru toate procesele de încălzire”.

În figura 11 se prezintă tipuri de echipamente solare care pot acoperi diverse domenii de temperatură pentru necesități industriale sau energetice.

Producerea combinată de  $\text{H}_2$  și alte forme de energie prin intermediul energiei solare în regiuni îndepărtate de Europa va facilita utilizarea

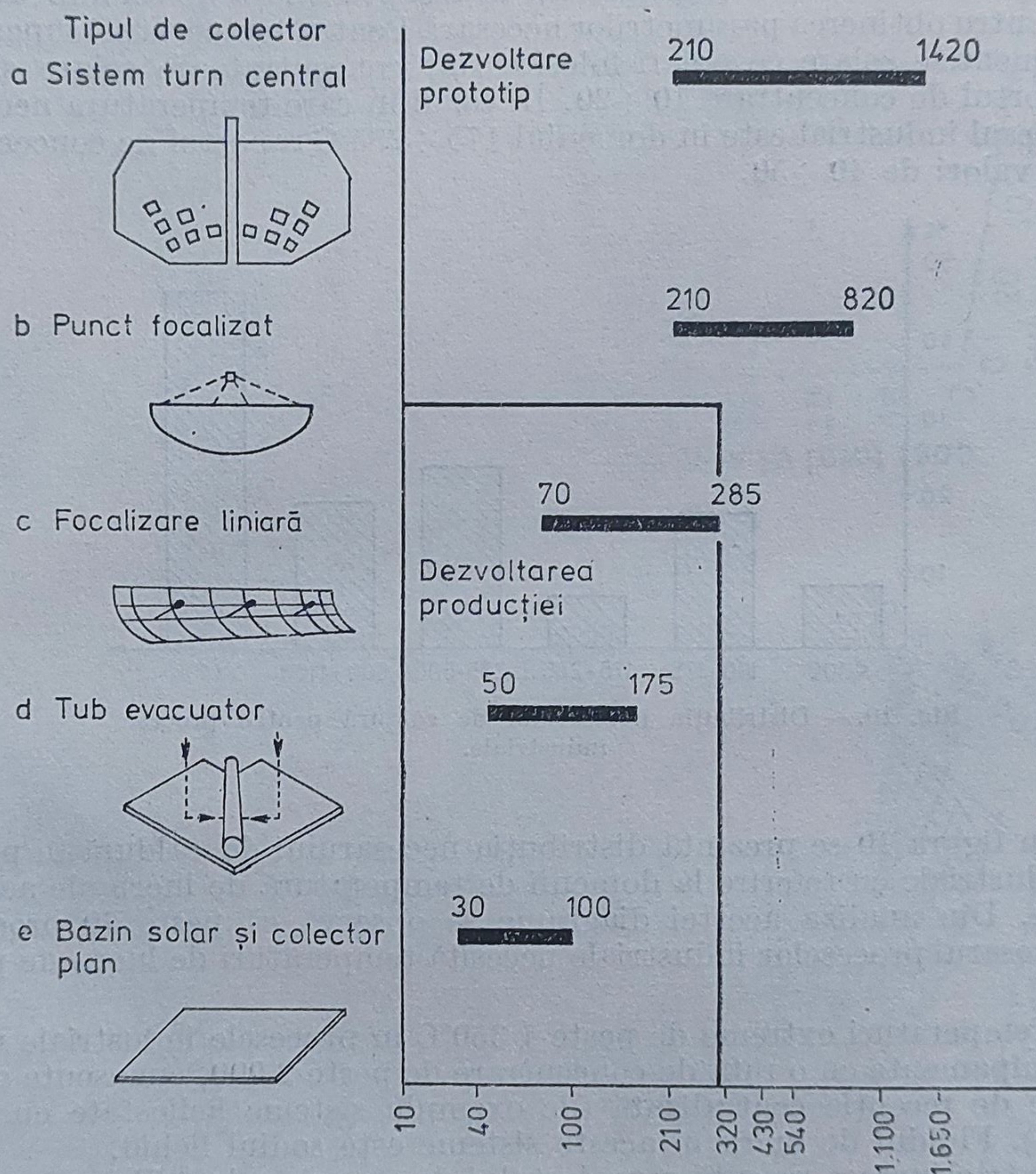


Fig. 11. — Colectoare solare și domenii de temperatură de lucru ale acestora.

economică a energiei solare în scopuri de încălzire. Proiectele de producere a energiei electrice și neelectrice pe cale solară vor fi foarte costisitoare și vor necesita masive eforturi tehnice și ingineresti, vom fi probabil nevoiți să cuplăm în viitor infrastructuri energetice solare alături de cele „clasice” sau nucleare.



În analizele globale de penetrare a energiei solare viitorul acesteia este asociat, ca pondere de penetrare în baza energetică mondială cu cel al energiei de fuziune (SOLFUS).

Abordarea unui program complex de energetică solară este secvențială. Astfel, planurile naționale și internaționale pentru promovarea energiei solare pornesc de la construirea de case solare și instalații pentru utilități agricole, la utilizarea rațională a resurselor climatice pentru producția vegetală sau integrarea centralelor solare de mare putere în sistemele complexe de tip SOLFUS.

Așa cum am mai arătat, amplasarea obiectivelor energetice solare în zone adecvate vor necesita și realizarea de sisteme de transport și/sau stocare a energiei. Vor fi necesare eforturi pentru dezvoltarea de modele matematice și de simulare pentru optimizarea sistemelor energetice având încorporate instalații energetice solare.

În continuare se prezintă câteva probleme privind modelarea sistemelor energetice solare :

- filozofia încadrării energiei solare (diseminat sau organic integrat) într-un sistem național de energie ;
- determinarea și optimizarea capacităților de stocare ținând seama de consumatori și de structura facilităților energetice solare ;
- siguranța în funcționare a sistemelor energetice solare pentru cazul luării în considerare a funcționării aleatoare (de exemplu : vînt, soare) ;
- metodologie de calcul pentru evaluarea costului energiei solare funcție de capacitatea unui anume sistem energetic.

Astfel, devine clar că, în scopul stăpînirii caracterului stocastic al energiei solare este necesar să cuplăm scheme clasice cu cele ale surselor noi de energie. Este cazul conceptului integrat de aerogenerator — lac de acumulare.

Încadrarea în curba de sarcină are un rol important în efortul de optimizare a investițiilor și a regimului de funcționare a echipamentelor energetice solare.

### Interdependența dinamică a surselor clasice și a surselor noi de energie

Este cunoscut că o sursă nouă de energie se integrează într-o structură energetică deja existentă. Un sistem energetic este cel mai adesea realizat ca o combinație între tehnologii bazate pe cărbune, hidro, petrol, gaz natural, nuclear. În acest context sursele noi de energie (de exemplu : energia solară, eoliană) trebuie să pătrundă într-o bază energetică națională și ulterior să substituie eventual tehnologii energetice uzate moral, fizic sau care utilizează resurse scumpe sau repede epuizabile (de exemplu : petrol, gaz natural).

Mecanismul substituției logistice a tehnologiilor energetice la nivelul unei economii naționale sau la nivel mondial a fost amplu studiat în ultimii ani de către C. Marchetti și colaboratorii lui la Institutul internațional pentru analiza aplicată a sistemelor. Modelele de analiză corespunzătoare reprezintă instrumente utile de analiză și decizie privind strategiile și opțiunile energetice de viitor. În loc de a studia dinamica valorilor absolute a evoluției și perspectivei resurselor energetice primare în baza



energetică națională (mondială), modelul substituției logistice operează cu ponderile de participare a fiecărei resurse. În promovarea resurselor noi energetice în cadrul modelului se introduc elemente de calcul tehnico-economic ca spre exemplu investiția specifică și costurile specifice ale energiei produse cu referire la diverse tehnologii energetice. În tabela 4

Tabela 4

Indicatori economici de calcul pentru diferite surse de energie

Nr. crt.	Sursa	Investiții specifice [lei/tcc/an]	Cost energie [lei/tcc]
1.	Geotermală	980—2 968	196—1 414
2.	Solară	21 200—38 600	1 480—2 420
3.	Energia eoliană	1 900—2 600	2 450—3 180
4.	Pompe de căldură	10 300	500—2 000
5.	Încinerare	25 000	1 250
6.	Centrale hidroelectrice	121 000	3 400
7.	Centrale termoelectrice de condensatie (lignit)	2 300	700
8.	Centrale pe sistem bituminoase	3 600	950
9.	Centrale electrice de termoficare (lignit)	5 100	720
10.	Centrale termice de zonă (lignit)	6 400	870

sînt date valori de calcul orientative utilizate în cadrul unor scenarii energetice privind promovarea surselor noi de energie. Analiza s-a efectuat utilizînd programul de calcul PENETR, elaborat pentru un sistem de calcul interactiv existent la Colectivul de ingineria sistemelor și cibernetică industrială a facultății de Energetică din cadrul Institutului politehnic București.

În figura 12 se prezintă cîteva asemenea scenarii de promovare a surselor noi de energie (de exemplu : geotermal, solar, eolian, incinerare, pompe de căldură) în contextul dezvoltării în continuare a energiei clasice, hidroenergetice, termoficarea. Rezultatele de calcul obținute prin aplicarea programului de mai sus indică că fracțiunile  $F$  (ponderea) ale diverselor tehnologii energetice în perspectivă sînt într-o continuă interdependență dinamică. Rezultatele obținute mai pot fi interpretate și ca indicatori ai vitezei de penetrare a surselor noi de energie într-o structură complexă energetică deja existentă.

Aplicarea modelului de calcul este orientativă și ea poate fi extinsă în mod concret și pentru alte sisteme energetice care doresc ca pentru o perspectivă de timp apropiată și medie să încorporeze în structura lor tehnologii energetice solare.

Așa cum de altfel s-a mai arătat deja, utilizarea unor calcule tehnico-economice complexe indică faptul că sursele noi la nivelul actual de investiții specifice vor promova cu greu dacă nu vor avea loc salturi importante în activitatea de cercetare-dezvoltare pentru a obține tehnologii noi energetice, mai eficiente.



PROGNOZA PENETRĂRII ECONOMICE A UNOR TEHNOLOGII ENERGETICE COMPETITIVE

\*\*\*\*\*

RATA ANUALA DE CREȘTERE: .05

PRECIZIE: 10<sup>-3</sup>

NR. COMPETITORI: 10

COMPETIT. DE REFER.: SOLAR

AN ÎNCEPUT PROGNOZA: 1980

AN SFÎRSIT PROGNOZA: 1990

ETAPA PROGNOZA(ANI): 1

ADR. DISC SUBPR.: 310

\*\*\*\*\*

NR. NUME COMPETITOR COST PROD. INVEST. SPEC. PARTE ÎNȚIALĂ

\*\*\*\*\*

1 .	GEOTERM	1450	2900	.02
2 .	SOLAR	2420	38600	.02
3 .	VINT	3180	2600	.01
4 .	POMPE	2000	10300	.01
5 .	INCINER	1250	25000	.01
6 .	CHE	3400	121000	.13
7 .	CTCLIG	700	2300	.27
8 .	CSBIT	950	3600	.18
9 .	CETLIG	720	5100	.2
10 .	CTZLIG	870	6400	.15

\*\*\*\*\*

	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
	+++++										
1980+21	60	89	7								
+2 1	608	9	7								
+2	16*	9	7								
+2	6*	9	7								
+2	*	91	7								
1985+2	8*	9	71								
+2	806	97		1							
+2	8*	*			1						
+2 8	*	*				1					
+2 80679							1				
1990+28 0*9								1			

Fig. 12 a. — Scenarii de promovare a unor noi surse de energie.



# PROGNOZA PENETRĂRII ECONOMICE A UNOR TEHNOLOGII ENERGETICE COMPETITIVE

\*\*\*\*\*

RATA ANUALA DE CREȘTERE; .05

PRECIZIE: 10<sup>-3</sup>

NR. COMPETITORI: 10

COMPETIT. DE REFER.: SOLAR

AN ÎNCEPUT PROGNOZA: 1980

AN SFÎRSIT PROGNOZA: 1990

ETAPA PROGNOZA(ANI): 1

ADR. DISC SUBPR.: 310

\*\*\*\*\*

NR. NUME COMPETITOR COST PROD. INVEST. SPEC. PARTE ÎNITALA

\*\*\*\*\*

1 .	GEOTERM	196	980	.02
2 .	SOLAR	1480	21200	.02
3 .	VINT	2450	1900	.01
4 .	POMPE	1500	10300	.01
5 .	INCINER	1250	25000	.01
6 .	CHE	3400	121000	.13
7 .	CTCLIG	700	2300	.27
8 .	CSBIT	950	3600	.18
9 .	CETLIG	720	5100	.2
10 .	CTZLIG	870	6400	.15

\*\*\*\*\*

	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
	+++++										
1980+*	60	89	7								
+	608	9	7								
+	608	9	7								
+2	608	9	7								
+2	6*	9	7								
1985+2	6*	9	7								
+2	6*	9	7								
+2	680	9	7								
+2	680	9	7								
+2	680	9	7								
1990+2	*0	9	7								

	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
	+++++										
1980+1*5	6				7		8		9		0
+1*5	6				7		8		9		0
+	6				7		8		9		0
+	6				7		8		9		0
+*5	6				7		8		9		0
1985+*5	6				7		8		9		0
+*5	6				7		8		9		0
+*5	6				7		8		9		0
+	6				7		8		9		0
+	6				7		8		9		0
1990+*	6				7		8		9		0

Fig. 12 b



# PROGNOZA PENETRĂRII ECONOMICE A UNOR TEHNOLOGII ENERGETICE COMPETITIVE

RATA ANUALA DE CREȘTERE: .05

PRECIZIE: 10<sup>-3</sup>

NR. COMPETITORI: 5

COMPETIT. DE REFER.: VINT

AN ÎNCEPUT PROGNOZA: 1980

AN SFÎRSIT PROGNOZA: 1990

ETAPA PROGNOZA(ANI): 1

ADR. DISC SUBPR.: 310

NR. NUME COMPETITOR COST PROD. INVEST. SPEC. PARTE ÎNITALĂ

1 .	GEOTER	500	1500	.2
2 .	SOLAR	1800	30000	.3
3 .	VINT	2800	2400	.1
4 .	POMPE	1500	10300	.2
5 .	INCINER	1250	25000	.2

	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1980+	3	45	12								
+3		45	2 1								
+		45	2	1							
+		45	2		1						
+		4 5	2		1						
1985+		4 5	2		1						
+		4 5	2		1						
+		4 5	2		1						
+		4 5	2		1						
+		4 5	2		1						
1990+		4	5 2								

	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1980+			1			2 3		4		5	
+			1			23		4		5	
+				1		*		4		5	
+				1		*		4		5	
+				1		*		4		5	
1985+					1		*		4		5
+					1		*		4		5
+					1		*		4		5
+					1		*		4		5
+					1		*		4		5
1990+						1		*		4	5

Fig. 12 c.



## Reziliența strategiilor energetice solare

Este îndeobște cunoscut din biologie că complexitatea și diversitatea în sistem coexistă în situații de excepție (de asalt) sau în fața unor situații neașteptate.

În științele sociale Dubos a demonstrat că sistemele (societățile) care dezvoltă opțiuni multiple în scopul realizării unui obiectiv (de exemplu creșterea bunăstării sau a calității vieții) par a supraviețui mai mult timp decât acelea care sînt dependente de un singur mod de realizare a obiectivului central.

Devine așadar util în a proceda la proiectarea sistemelor tehnologice, inclusiv sistemele de energie astfel încît ele să facă față cu succes la fluctuații inevitabile generate de diverse cauze. Acest lucru este cunoscut drept *reziliența sistemelor*.

Planificarea opțiunilor și a strategiilor energetice pe termen lung necesită și preocupări serioase în domeniul proiectării tehnologice a viitoarelor sisteme de energie și a modului de proiectare a complexității acestora. Se va pune în acest sens problema să se realizeze sisteme fizice capabile să absoarbă evenimente cu anticipație (de exemplu evenimente de incertitudine care se iau în calcul fără a se cunoaște apriori cauza lor) și acestea să continue să existe după producerea acestor evenimente. Devine așadar, posibil ca în viitor să adoptăm un alt punct de vedere pornind de la maximizarea rezilienței sistemelor. Reziliența este deci considerată ca proprietatea unui sistem de a absorbi schimbări; se presupune că acestea sînt bruște și exterioare sistemului.

Deosebită atenție în viitor va trebui să se dea problemei cuplării sistemelor energetice cu vârste tehnologice diferite cum este cazul energiei solare și cea a combustibililor fosili. Trebuie să se aleagă astfel de strategii de proiectare și opțiuni de sisteme de energie solară și clasice pentru ca în final, la un anumit moment să se obțină sisteme energetice globale suplă și totodată sigure.

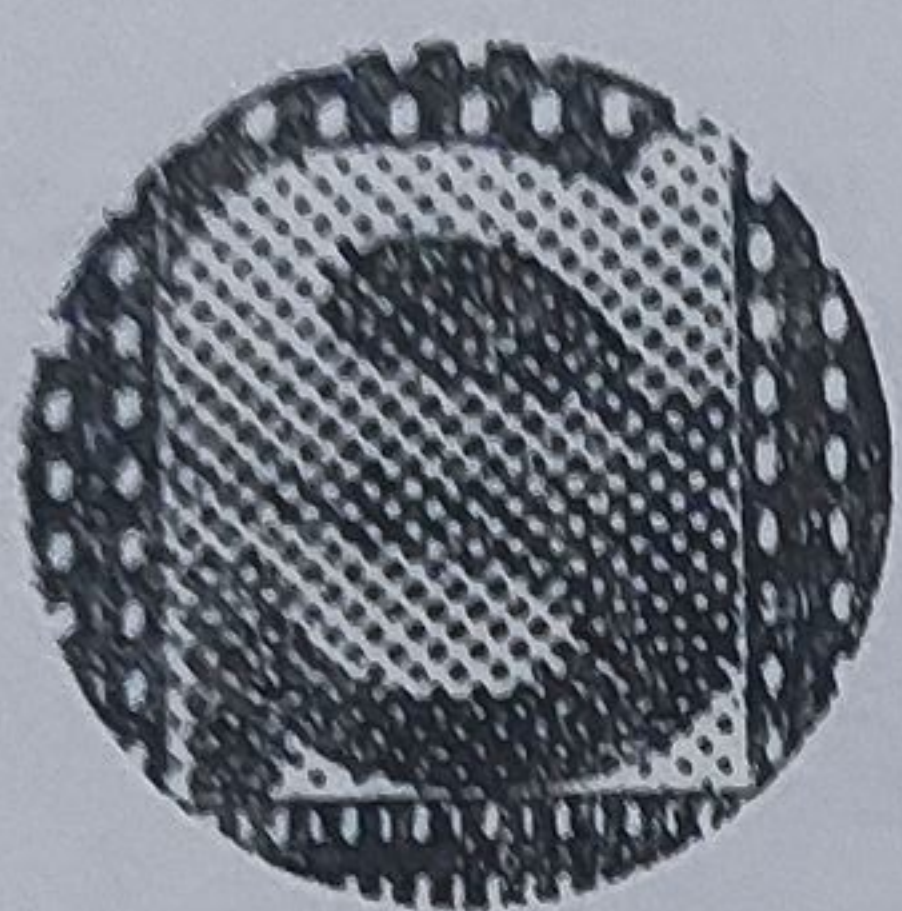
## Bibliografie

1. WILLIAM G. POLLARD, *Analysis of systems for the generation of electricity from solar radiation*, Institute for Energy Analysis, June 1978, ORAU/IEA — 78 — 12 (R).
2. DAVID A. BOYD, *The stochastic sun: understanding the intermittent resource*, Institute for Energy Analysis, June 1985, ORAU/IEA—80—10(M).
3. J. M. WEINGART, *Systems aspects of large-scale solar energy conversion*, IIASA, Laxenburg, RM—77—23, May 1977.
4. JOHN H. ASHOWRTH, *Renewable energy sources for the world's poor: a review of current international development assistance programs*, Solar Energy Research Institute, SERI/TR—51—195.
5. WILLIAM NESBIT, *Going with the wind*, EPRI Journal, 5, 2, March (1980).
6. R. L. RUDMAN, C. G. WHIPPLE, *Time Lag of Energy Inovation*, EPRI Journal, 5, 3, April (1980).
7. \* \* \* *Energy in the developing countries*, World Bank, August 1980.
8. ROBERT W. GILMER, *The social control of energy: a case for the promise of decentralized solar technologies*, Institute for Energy Analysis, ORAU/IEA—80—2(M).
9. WILLIAM G. POLLARD, *Ocean Thermal Energy Conversion*, Institute for Energy Analysis, ORAU/IEA—78—11(0).



10. A. M. PERRY et. al., *Net Energy Analysis of an ocean thermal energy conversion (OTEC) system*, Institute for Energy Analysis, ORAU(M) — 77—1.
11. D. W. I. ROGERS, *Energy resource requirements of a solar heating system*, Energy, 5, 75—86 (1980).
12. D. A. BOYD et. al., *Economics and the sun : recognizing the costs of intermittency*, Presented at the Annual Meeting of the American Section/International Solar Energy Society, Phoenix, Arizona, June 2—6, 1980.
13. GREGORY FRANTA, *Solar Commercialization through the design professions*, Presented at the Solar Energy and Conservation Workshop, Miami Beach, Florida, December 11—13, 1978.
14. J. O. BRADLEY et. al., *Design optimization for solar array of multiple collector types*, Presented at the International Conference on Alternative Energy Sources, Miami, Florida, December 1977.
15. G. M. BULMAN, *Batteries for solar energy storage*, International power generation, 3, 5, July—August (1980).
16. CHARLES DRUCKER, *Some like it hotter*, Soft Energy Notes, 3, 5, October/November (1980).
17. \* \* \* *Solar Energy in America's future. A preliminary assessment*, Stanford Research Institute, Menlo Park, Ca., March 1977.
18. JOSEPH M. SULOCK, *The economics of solar heating. A note on the appropriate discount rate and the use of the pay back period*, Solar Energy, 24, 505—506 (1980).
19. SVEN HUGOSSON, *Sweden to build large—scale wind turbine prototypes*, International Power Generation, 3, 8, November (1980).
20. CHRISTOPHER FLAVIAN, *Energy and architecture : the Solar and Conservation Potential*, Worldwatch Paper 40, November 1980.





# Problema energiei și energetica solară



## CÎT SE POATE FOLOSI DIN ENERGIA SOLARĂ?

### 1. Introducere

Costin MOȚOIU\*)

How much can be used from  
the solar energy

The author presents a comprehensive outlook on the possibilities and the limits of using solar energy.

Specific definitions for the effective economical and technical potential of this renewable and wild source of energy are given together with the participation of the sun in meeting some needs for heat and for mechanical energy.

A special point investigates the influence of the electrical power produced by thermodynamical and/or photovoltaic conversion on the established frame of the national power system. An estimation on the long term energy budget and the return to the society of the incorporated energy in the solar technologies under the assumption of a given rate of their market penetration, is also reported.

\*) Institutul politehnic București.

Cînd obișnuit se vorbește de aportul energiei solare pentru acoperirea nevoilor omeneirii se pornește de la valoarea totală a energiei radiante incidente pe glob sau pe suprafața uscatului, conchizînd că aceasta este cu trei sau chiar patru ordine de mărime superioară necesităților și ar putea să satisfacă integral cerințele de viitor.

Aprecierea astfel făcută are un caracter teoretic, plafon, fiindcă ea se referă numai la dimensiunea fizică a fenomenului. În realitate apar o serie de restricții care limitează serios posibilitatea de a folosi această sursă de energie și care afectează totodată viteza ei de penetrație pe piață.

Restricțiile sînt în primul rînd de ordin tehnic, legate de cerințele consumatorilor, de prezența periodică și aleatoare a sursei, precum și de randamentul lanțului de transformări de energie. Apar de asemenea restricții economice care determină eficiența energiei solare în competiția cu celelalte surse de energie folosibile la un moment dat, precum și restricții datorită impactului folosirii energiei solare asupra mediului înconjurător, asupra structurii sistemului energetic, asupra construcțiilor existente și legate de continuitatea necesară în alimentarea cu energie a consumatorilor.

Dezvoltarea și penetrația pe piață a energiei solare se lovește de unele limitări tehnologice datorită materialelor folosite și de posibilitățile de a le obține în cantitățile cerute pentru realizarea echipamentelor de captare. În fine, rezultă și limitări datorite conținutului de energie înglobată în echipamente, în toate fazele lor de realizare, de la extracția materiei prime pînă la fabricație și montaj.



Folosind definițiile din hidroenergetică, unde are loc o situație similară, se poate spune că dimensiunea fizică a fluxului de energie radiant reprezintă potențialul teoretic total al sursei. Practic, se poate apela numai la o fracțiune din acest potențial care reprezintă „potențialul tehnic amenajabil”, iar în cadrul acesteia, într-o conjunctură economică dată, și pentru un anumit nivel de tehnologie, se poate apela în condiții eficiente, numai la cota denumită „potențialul economic amenajabil”.

Elementul care determină eficiența utilizării sursei de energie solare îl constituie randamentul de transformare.

Deși în aparență potențialul energiei primare fiind infinit în raport cu cerința, s-ar putea afirma că randamentul își pierde sensul ca noțiune, cu cât randamentul este mai modest, pentru același efect util, este nevoie de o instalație de colectare mai mare și echipamente mai voluminoase. Deci investiții sporite și energie încorporată mai importantă.

Particularitățile instalațiilor solare definesc și posibilitățile de folosire în diversele activități consumatoare de energie. În principal aceste instalații pot fi încadrate în trei categorii:

— Bazate pe tehnologii „ușoare”, avînd o construcție simplă, folosind procedee tehnice bine cunoscute și stăpînite, capabile să producă drept formă utilă de energie căldură, cu nivel coborît de temperatură, destinată producerii de apă caldă de consum și pentru încălzire urbană, respectiv pentru încălziri și uscări de joasă temperatură în industrie.

— Bazate pe tehnologii „grele”, destinate fie producerii de căldură cu nivel ridicat sau mediu de temperatură, destinat livrării de căldură sub formă de abur pentru industrie sau pentru producere de lucru mecanic în procese termodinamice. Elementul definitoriu al tehnologiei grele îl constituie nevoia de a concentra radiația solară asupra unui punct fix, generatorul de căldură, cu ajutorul unui sistem de reflectare concentrator, mobil, cu urmărire automată a poziției soarelui.

— Bazate pe tehnologii „noi”, destinate producerii de energie electrică prin conversie directă, fotovoltaică sau prin producerea indirectă a unor noi combustibili prin crearea pe cale chimică sau biologică.

Cît putem folosi din energia solară este influențat și limitat și de scara consumatorilor. Energia solară are o concentrație energetică redusă, variabilă diurn și sezonier. Aceasta majorează pe de o parte dimensiunile fizice ale instalațiilor, iar pe de alta împiedică posibilitatea de a construi unități mari. O instalație energetică solară mare este o însumare de module medii sau mici. Astfel efectul favorabil de scară obținut asupra reducerii investiției și consumului specific din instalațiile convenționale și nucleare nu se regăsește la instalațiile solare.

Cota de energie primară preluabilă din surse solare se dezvoltă deci începînd cu consumatorii mici și dispersi. Este o acțiune extensivă și de aceea ritmul de penetrație depinde de o multitudine de acțiuni și investiții de interes local.

Marea industrie consumatoare intensivă de energie și marile aglomerații urbane sînt supuse unor preocupări avansate de economisire a energiei, prin optimizări în domeniul producerii combinate a căldurii și energiei electrice prin termoficare, prin apelul progresiv la energia electrică din surse nucleare și prin acțiuni complexe de recuperări de resurse



energetice secundare și de reciclări. În plus în aceste situații se majorează și cerințele de continuitate și uniformitate în livrare.

Este domeniul preponderent în structura consumului de energie în economia națională iar în acest domeniu pătrunderea competitivă a energiei solare se va face cu decalajul mare de timp.

Dacă analizăm șansa energiei solare, ca sursă alternativă pentru economie prin prisma maturității tehnice, se poate afirma că pentru toate tipurile de folosințe fenomenul fizic este pe deplin stăpinit iar tehnologiile de producție ale echipamentelor sînt avansate în domeniul folosințelor „ușoare”, sînt în dezvoltare în privința folosințelor „grele”, dar se află încă în fază de cercetare în privința tehnologiilor „noi”.

În acest al treilea domeniu, urmează încă să se obțină reduceri masive de costuri de realizare (pentru conversie directă) și ridicări în eficiența producerii formelor utile de energie pentru a putea pătrunde în aplicațiile din economie, și personal consider că stadiul lor actual poate fi comparat cel mult cu cel al energiei nucleare la mijlocul secolului 20.

Ceea ce trebuie să se cîștige pentru energia solară este experiența privind comportarea în exploatare, cunoașterea fiabilității echipamentelor și dobîndirea încrederii, și în această privință calea este laborioasă.

Menținerea performanțelor în timpul exploatării reclamă o întreținere permanentă și necesită mîină de lucru. Experiența de durată cu colectoare plane în California a arătat că prin murdărirea naturală eficiența colectorului scade cu 5 % după o lună și cu 12 ÷ 13 % după 5 luni. În alte cazuri, de exemplu la celulele fotovoltaice poate apare și o degradare prin îmbătrînire, iar la colectoarele pentru încălzire coeficientul de absorbție al radiației poate suferi în timp modificări în sens negativ prin îmbătrînirea sau alterarea tratamentului suprafețelor expuse.

După părerea cercetătorilor americani, la o întreținere cu curățire riguroasă o scădere cu 3 % a performanțelor după un an este considerată bună, una de 3 ÷ 6 % satisfăcătoare și una peste 6 % necorespunzătoare. Acest factor de exploatare influențează cota de energie utilă obținută de la soare în cadrul unei instalații deja executate.

## 2. Aportul la producerea căldurii prin tehnologii ușoare

Căldura cu potențialul redus de temperatură, exprimată în unități de energie primară (combustibil convențional) intervine în condițiile noastre climatice cu pînă la 40 % în balanța nevoilor de energie ale unei societăți care atinge pragul unei economii cu dezvoltare medie.

Principala cotă în acest consum o constituie încălzirea spațiilor închise de locuit și a celor industriale, astfel că nevoile sînt din acest punct de vedere în opoziție cu disponibilitatea medie a sursei solare.

O a doua categorie importantă o constituie căldura pentru industrii care se bazează pe procese care au loc la joasă temperatură, cum sînt de exemplu procesele de uscare și de fierbere sub vid din industriile alimentare și cele ale lemnului și materialelor de construcții. Consumul industrial poate avea un caracter uniform anual sau sezonier, în concordanță cu



disponibilitatea energiei solare, însă cerințele de continuitate și cele ale nivelelor de temperatură sînt mai riguroase față de cele legate de încălzirea spațiilor.

Din această cauză pentru procesele industriale, energia solară trebuie privită ca o sursă de energie de completare. Nivelul de temperatură cerut poate fi atins prin ridicarea temperaturii fluidului încălzit solar cu ajutorul pompelor de căldură iar aceasta implică un consum de energie electrică, deci de energie din surse convenționale ale sistemului.

Posibilitățile de combinare sînt multiple și depășesc cadrul acestei analize de principiu. Esențial este a puncta ideea că în asemenea situații cota de energie solară  $X$ , valorificată pentru un proces industrial este asociată unei cote de energie  $Y$  provenită din consumul de energie electrică al pompei de căldură și unei cote de căldură  $Z$  provenită direct prin arderea de combustibil.

Bilanțul energetic ce evidențiază cantitatea relativă de combustibil convențional înlocuit din surse solare arată că aceasta depinde de cota de căldură preluabilă din surse solare, de nivelurile de temperatură de utilizare  $T_u$  și de colectare  $T_1$  (unde  $T_u > T_1$ ), de eficiența pompei de căldură și de consumul specific de combustibil în sistemul energetic pentru energia electrică aferentă funcționării pompei de căldură.

Cea de-a treia categorie de utilizare a căldurii solare o reprezintă apa caldă de consum. Aceasta pune condițiile cele mai ușoare instalațiilor de captare fiindcă implică o temperatură de utilizare de numai  $40 \div 50^\circ\text{C}$ , însă din punct de vedere cantitativ este limitată și reprezintă în balanța nevoilor de energie  $2 \div 4\%$ .

Temperatura colectorului are o influență esențială asupra eficienței captării solare cu captatoare plane, deoarece determină nivelul pierderilor convective de căldură și nivelul radiației inverse.

Temperatura colectorului este impusă de temperatura de utilizare a căldurii  $T_u$ . Agentul de încălzire de la ieșirea din colector o temperatură  $T_1$ , mai ridicată decît temperatura de folosire, pentru ca să permită transferul și transportul căldurii.

Această diferență  $T_1 - T_u$  este legată de schema instalației și de dimensionarea ei. Ea este minimă la acele tipuri de instalații solare care fiind folosite sezonier, numai la temperaturi externe la care nu se produce îngheț, pot folosi apa ca agent de încălzit în captator, iar acest circuit de apă cedează direct căldura consumatorului. În acest caz diferența  $T_1 - T_u$  are expresia  $T_1 - T_u = \Delta t_{r1} + \Delta t_{ai} + \Delta t_a + \Delta t_{ac} + \Delta t_{ir2} + \Delta t_u$ , unde  $\Delta t_{r1}$  este căderea de temperatură între ieșirea apei din captator și intrarea în acumulator.  $\Delta t_{ai}$  — reducerea de temperatură la intrarea în acumulator,  $\Delta t_a$  — pierderea de temperatură prin acumulare,  $\Delta t_{ac}$  — reducerea de temperatură la ieșirea din acumulator,  $\Delta t_{ir2}$  — căderea de temperatură pe traseul distribuției pînă la punctul de consum,  $\Delta t_u$  — diferența de temperatură la consumator între fluidul purtător de căldură și temperatura de utilizare  $T_u$ .

În cazul unui sistem de încălzire solară destinat să funcționeze și la temperaturi exterioare negative, fluidul captator va avea un punct de îngheț coborît și va ceda căldura fluidului de lucru din instalația de încălzire prin intermediul unui schimbător de căldură de suprafață care, rea-



lizat în contracurent, în condițiunile cele mai îngrijite introduce o cădere de căldură suplimentară  $\Delta t_s = 3 \div 7^\circ\text{C}$ .

În figura 1 este arătat randamentul obișnuit realizat de un captator plan și un captator cu factor limitat de concentrare în funcție de temperatură.

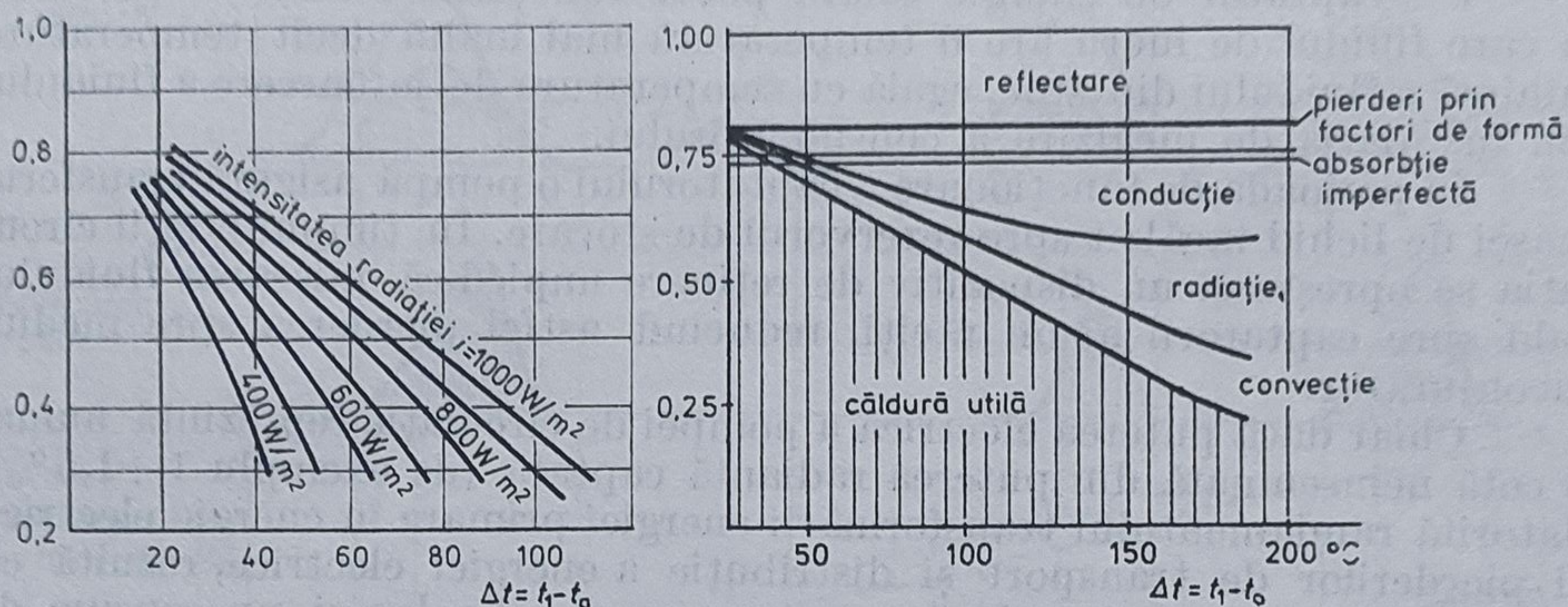


Fig. 1. — Randamentul captatorilor de energie solară :

a — captatoare plane; b — concentratoare cu raport redus de concentrare.

Orice proces de încălzire a spațiului este caracterizat de diferența de temperatură medie între mediul de încălzire și aerul ambiant. Cu cât această diferență de temperatură este mai redusă cu atât suprafața de încălzire, deci masa metalului instalației și costul său vor fi mai mari.

Dacă această diferență de temperatură trece de la valoarea uzuală în instalațiile de încălzire de  $60^\circ\text{C}$  la  $30^\circ\text{C}$  și la  $10^\circ\text{C}$  suprafața de încălzire crește de 2,5 respectiv 10 ori.

Așadar condițiile privind randamentul captatorului și costul respectiv energia înglobată în instalația de încălzire sînt contradictorii și conduc desigur la o valoare optimă pentru temperatura agentului de încălzire la ieșirea din captator.

Această optimizare de ansamblu are scopul să minimizeze impactul economic al acestor căderi de temperatură și are deci o influență hotărîtoare asupra posibilităților de implementare a folosirii accelerate a energiei solare prin tehnologii ușoare la consumuri cu nivel redus de temperatură.

Dintre toate componentele care intervin într-o asemenea instalație, hotărîtoare este calitatea captatorului solar. Deși aparent pentru realizarea acestuia elementele tehnice sînt pe deplin cunoscute, cercetarea tehnologică de amănunt are încă de adus o contribuție privind ridicarea randamentului în condiții de consum minim de materiale, mai ales din categoria celor energointensive care constituie de fapt baza structurii suprafețelor de captare și a izolării lor față de mediul exterior (aluminiiu, cupru, oțel, sticlă, materiale plastice izolante și de structură). Acțiuni de comparare atentă a diferite construcții de captatoare efectuate în alte țări arată încă diferențe spectaculoase între construcțiile cele mai avansate și cele uzuale. Rămîne așadar încă o sarcină a viitorului imediat să se continue următoarele probleme la care mai putem face în țara noastră



pași înainte: reducerea masei colectoarelor; limitarea apelului la materiale metalice energointensive; tratarea corespunzătoare a suprafeței captatoarelor pentru maximizarea absorbției și minimizarea radiației inverse și a reflecției; limitarea cantității de hidrocarburi în izolarea termică eficientă a colectoarelor, făcută cu materiale izolante corespunzătoare.

Un captator de energie solară poate funcționa numai în perioada în care fluidul de lucru are o temperatură mai înaltă decât temperatura minimă a fluidului din stoc, egală cu temperatura de întoarcere a fluidului din instalația de încălzire a consumatorului.

În perioada de funcționare a captatorului o pompă asigură transferul masei de lichid încălzit spre rezervorul de stocare. În timpul nopții circulația se oprește și un dispozitiv de reținere împiedică mișcarea fluidului cald spre captatorii acum răciți, reducând astfel pierderea spre mediul înconjurător.

Chiar dacă puterea electrică a pompei de circulație reprezintă numai o cotă neînsemnată din puterea radiantă captată (de exemplu  $1 \div 1,5\%$ ), datorită randamentului transformării energiei primare în energie electrică și pierderilor de transport și distribuție a energiei electrice, rezultă că pentru a folosi energia solară este necesar să aibe loc și un consum de energie provenit din sistemul energetic, avînd un echivalent de combustibil convențional de  $3 \div 4,5\%$ \*) din energia solară.

Pentru ca ansamblul de captare-stocare să poată funcționa cu pierderi minime este recomandabil să se folosească un procedeu de reglaj bazat pe diferența de temperatură dintre fluidul de la ieșirea din captatoare ( $T_{c2}$ ) și fluidul de la baza stocului ( $T_{s1}$ ). Așadar dacă  $T_{c1} - T_{s2} > \Delta T_d$ , fluidul începe să circule iar dacă  $T_{c1} - T_{s2} < \Delta T_0$  circulația fluidului se oprește.

Regimul de captare și transfer de căldură în întreaga instalație solară este tranzitoriu și temperatura apei la ieșirea din captatoare,  $T_{c1}$ , mereu variabilă. Aceasta influențează pierderile de căldură spre mediul înconjurător și randamentul captării în funcție de căldura acumulată în masa instalațiilor.

În figura 2 este arătată funcționarea în timp a unei instalații de încălzire solară asociată cu un acumulator de căldură și cu o instalație suplimentară folosind surse convenționale.

Mărimea acumulatorului definește atît regimul de lucru al instalației cît și posibilitatea de supradimensionare a instalației de captare în raport cu valoarea consumului mediu zilnic de căldură. Așadar cota de folosire a căldurii solare depinde în mod direct de mărimea acumulării care, în actualul stadiu al tehnicii se realizează de cele mai multe ori pentru durate limitate de timp, avînd o capacitate de compensare orar-zilnică.

De fapt alegerea mărimii acumulării consituie una din problemele esențiale ale optimizării instalațiilor și determină cota din consum ce poate fi preluat de sursa solară.

Mărimea acumulării și a masei instalațiilor au pe lîngă influențe negative, în sensul măririi pierderilor și a măririi intervalului de timp din

\*) Cu randamentul total net al lanțului de transformări de energie în sistemul energetic, de  $31 \div 32\%$ , apreciat pentru perioada 1980—2000, bazat pe faptul că în această perioadă principala producție de energie electrică va proveni din centrale termoelectrice convenționale și nucleare.



momentul apariției soarelui la orizont și începutul pompării apei spre acumulator.

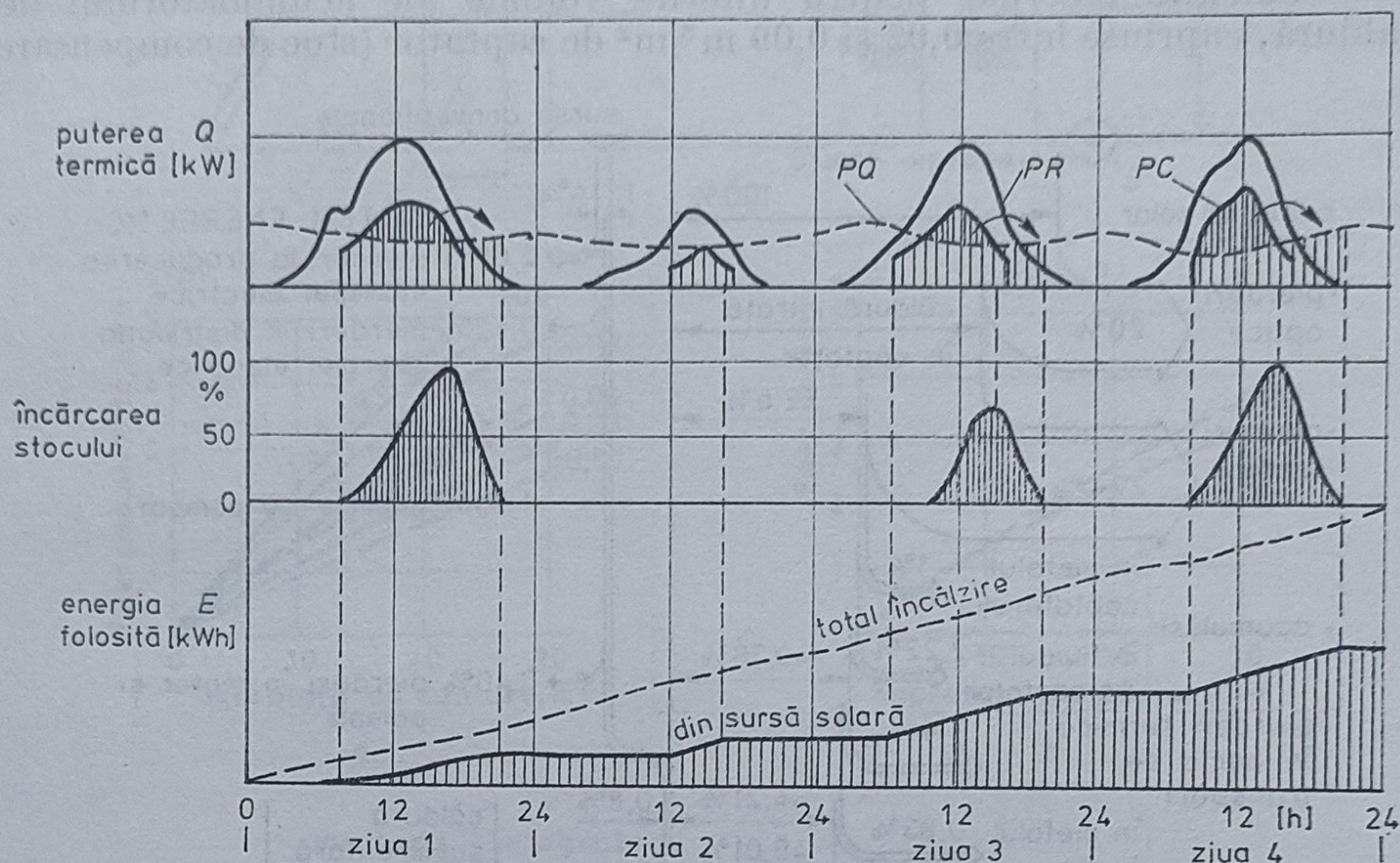


Fig. 2. — Ciclograma funcționării unei instalații solare folosind un acumulator de căldură cu compensare orar-zilnică :

$PR$  — puterea termică solară;  $PC$  — puterea termică captată,  $PQ$  — puterea necesară consumatorului.

În figura 3 este arătat bilanțul energetic diurn al unui sistem de încălzire combinat, evidențiind mărimea pierderilor datorită regimului tranzitoriu-intermitent.

Drept exemplificare citez un studiu referitor la cantitatea de energie solară ce poate fi folosită asociat cu o sursă de încălzire convențională, la încălzirea unei case de tip obișnuit. Cota de energie solară depinde evident de condițiile climatice dar și de felul instalației de încălzire și de schema acesteia, de mărimea colectoarelor și de mărimea stocului.

După cum rezultă din schemele și diagramele prezentate în figura 4 sistemul de încălzire solar poate să fie integrat cu cel folosind combustibil convențional sau poate să fie separat. Este evident că de la un sistem de încălzire dublu se pot obține rezultate mai bune în sensul măririi cotei de energie solară folosite, însă, cantitatea de metal, spațiul ocupat, costul și, în final conținutul de energie incorporat în instalație și cheltuielile de întreținere sînt diferite. Numai un calcul economic poate deci oferi posibilitatea de a decide asupra cotei economice raționale de participare a energiei solare.

În cadrul exemplului este considerată o casă de  $200 \text{ m}^3$  cu posibilitate de dispunere a unei suprafețe de captare de pînă la  $30 \text{ m}^2$ , amplasată în condiții climatice corespunzătoare zonei de sud a țării noastre (malul Dunării) și a zonei nordice (Suceava).

Ținînd cont de aportul intern de căldură, de iradierea suprafețelor vitrate ale casei și de pierderile de căldură, consumul anual de căldură



atinge 7500 kWh/an (6,5 Gcal/an) în sud și 10 000 kWh/an (8,6 Gcal/an) în nord.

Calculul efectuat pentru diferite volume ale acumulatorului de căldură, cuprinse între 0,02 și 0,09 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de captator (stoc de compensare

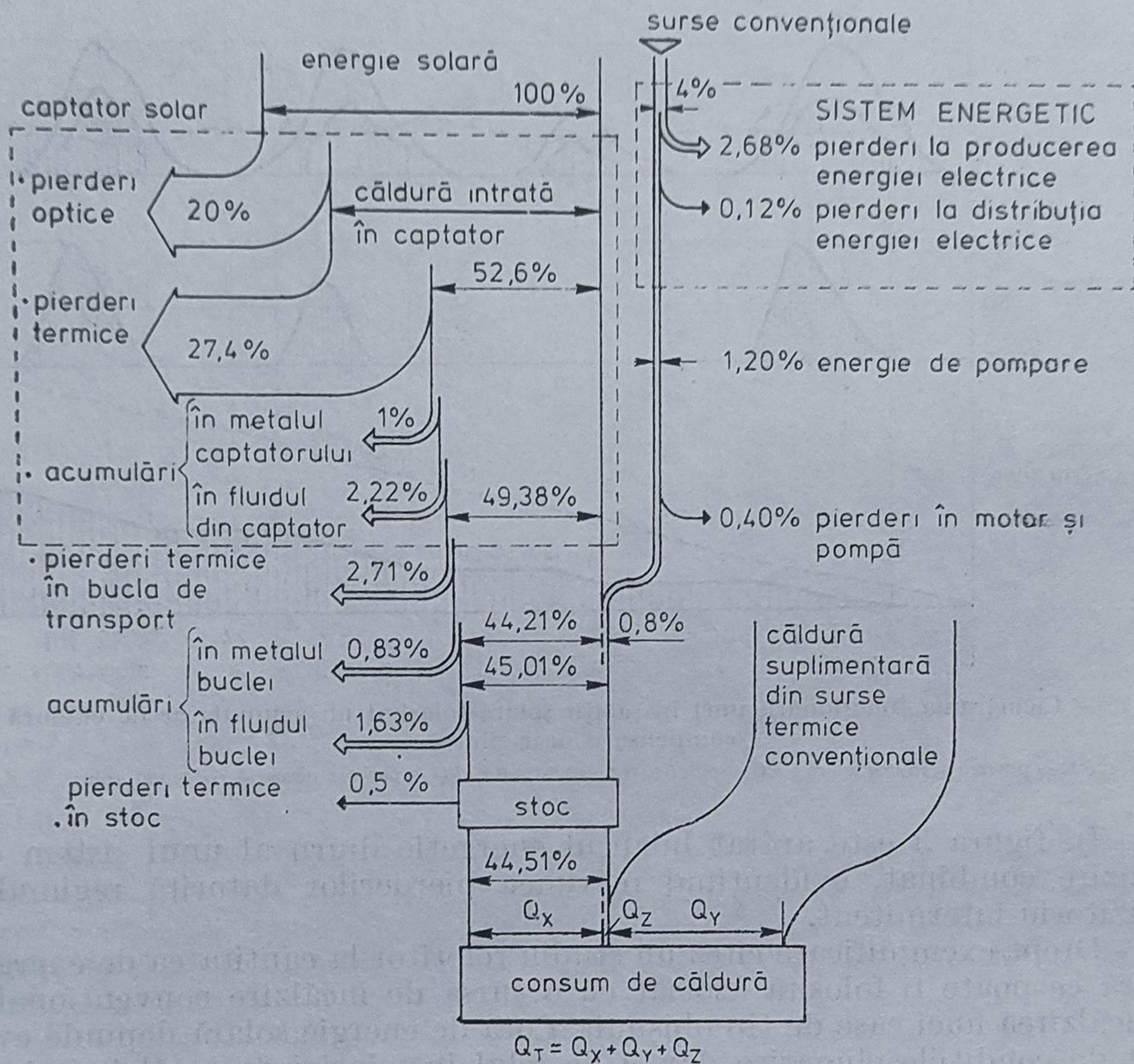


Fig. 3. — Bilanțul diurn al folosirii energiei pentru un consumator cu nivel coborât de temperatură :

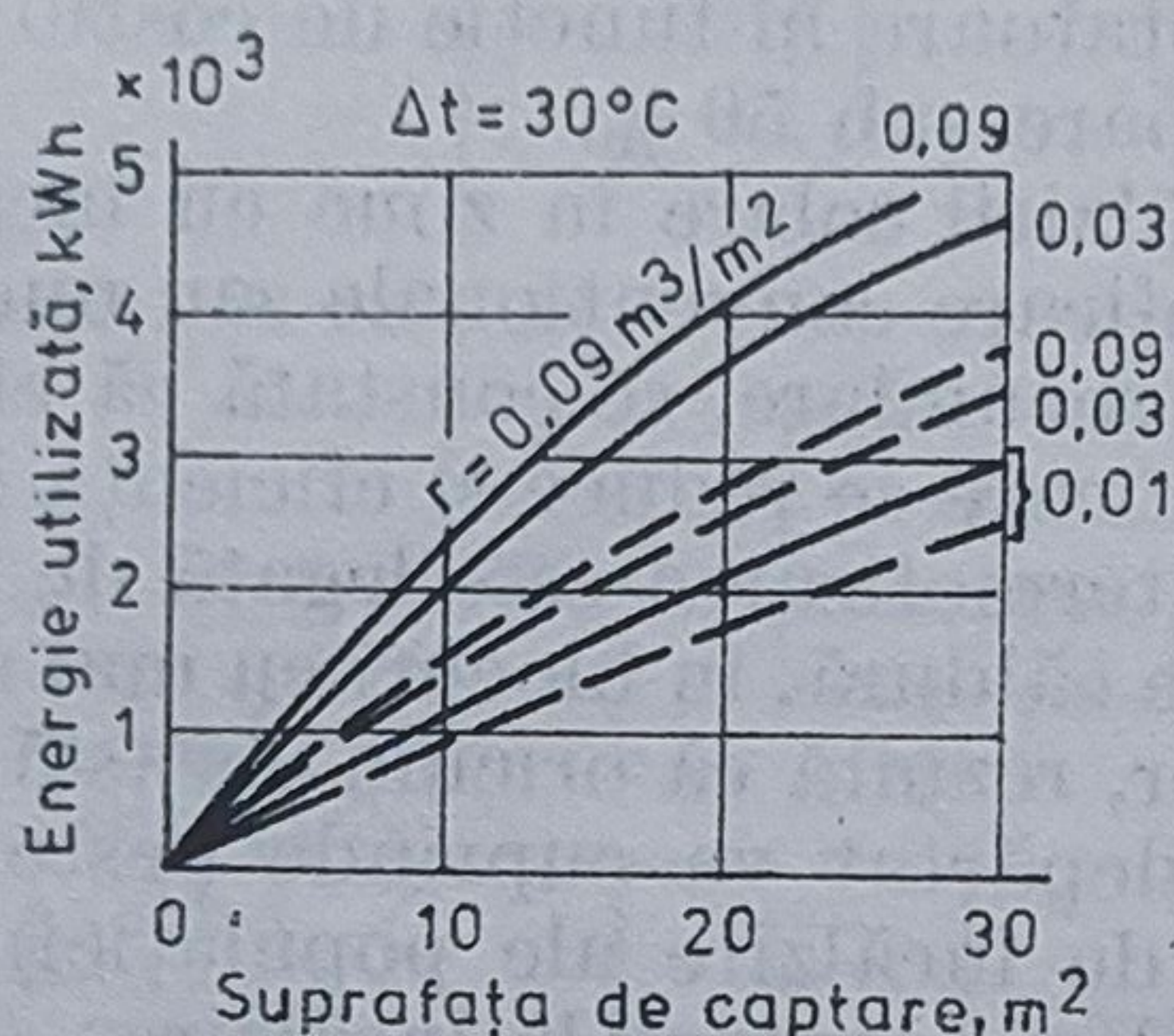
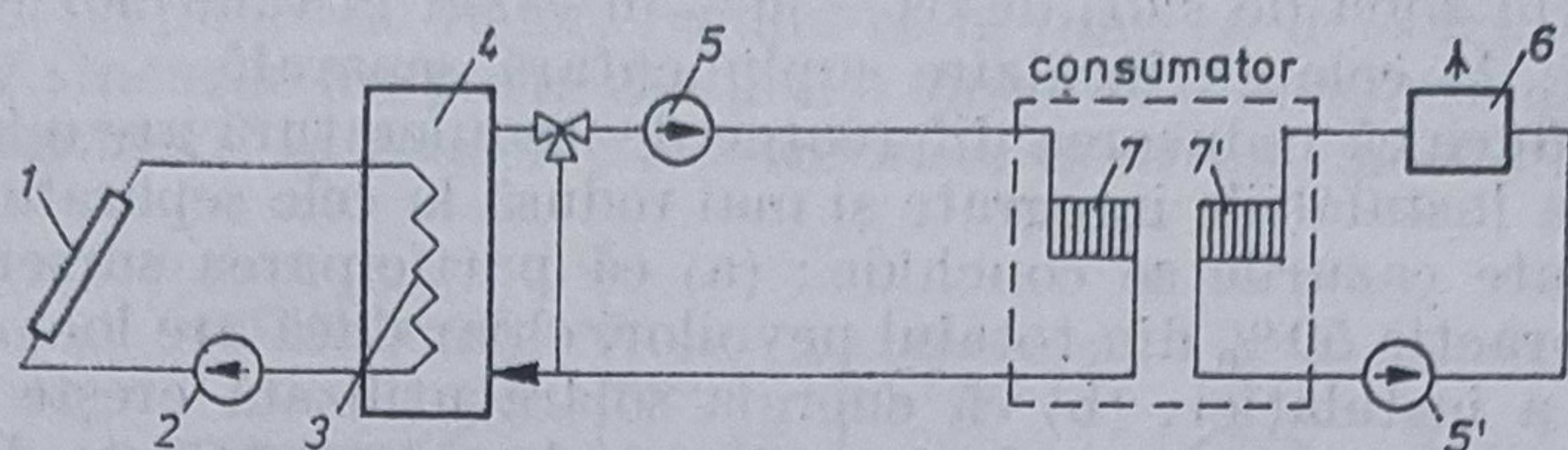
$Q_x$  — căldură utilă provenită din sursa solară;  $Q_z$  — căldură preluată suplimentar din surse termice convenționale,  $Q_y$  — energie din surse convenționale provenită prin intermediul energiei electrice de pompare (din sistemul energetic național).

zilnic-săptămînal) și o diferență de temperatură de 30°C între suprafața de încălzire și temperatura interioară, relevă că energia solară utilizată reprezintă cel mult : la instalații cu încălzire integrată, 46 ÷ 48% pentru limita superioară a stocului și 28 ÷ 31% pentru limita inferioară de dimensionare a acestuia; — la instalații cu încălzire suplimentară separată 51 ÷ 55% pentru limita superioară a stocului și 31 ÷ 35% pentru cea inferioară.

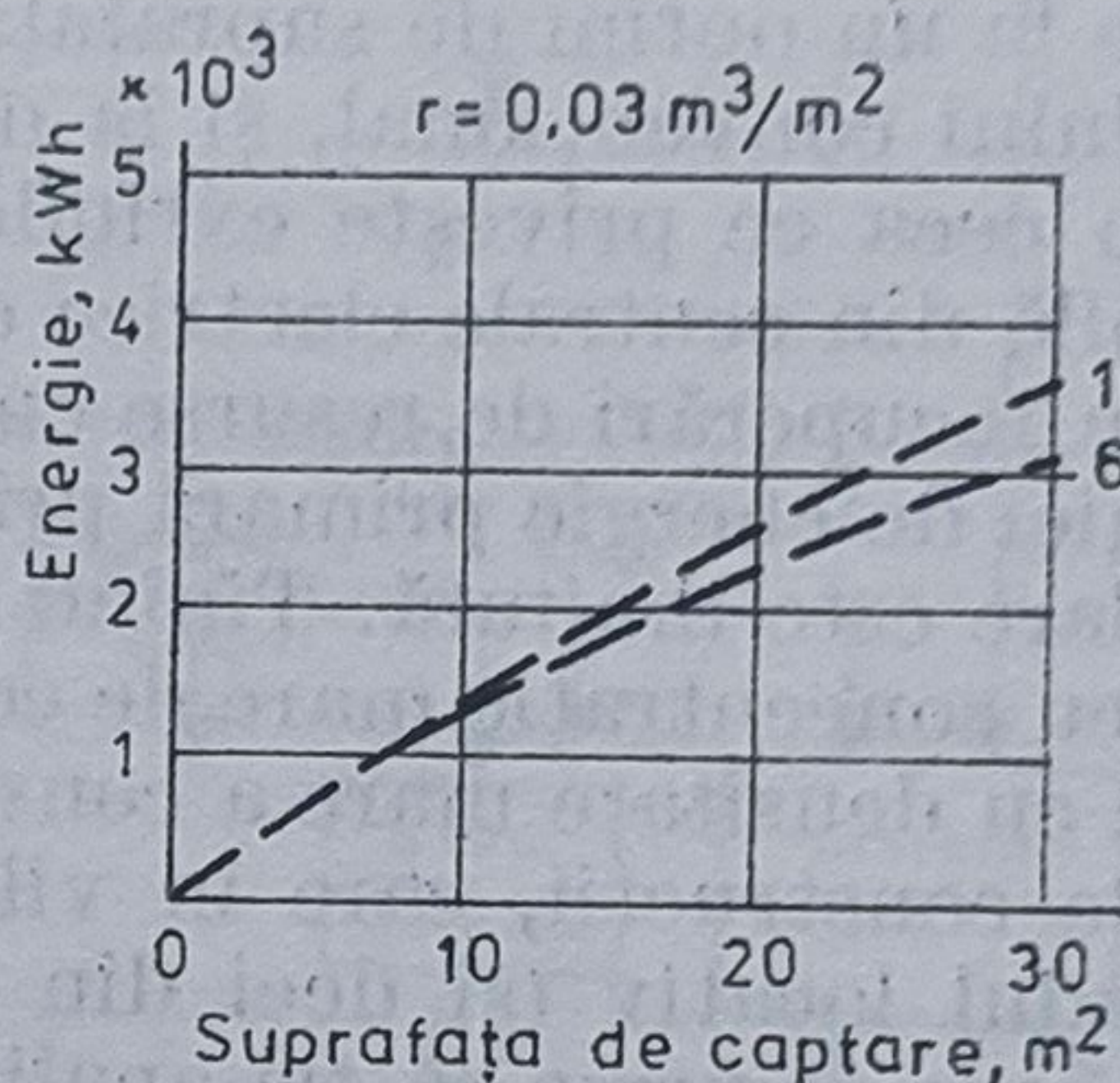
În cazul folosirii unui stoc dimensionat la valoarea mijlocie de 0,03 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> (adică de 9 m<sup>3</sup> pentru un captator de 30 m<sup>2</sup>), modificarea sistemului de încălzire, folosind diferența de temperatură între suprafața de încălzire și mediul ambiant cuprinsă între 10 și 60°C conduce la o participare a ener-



## Instalații separate

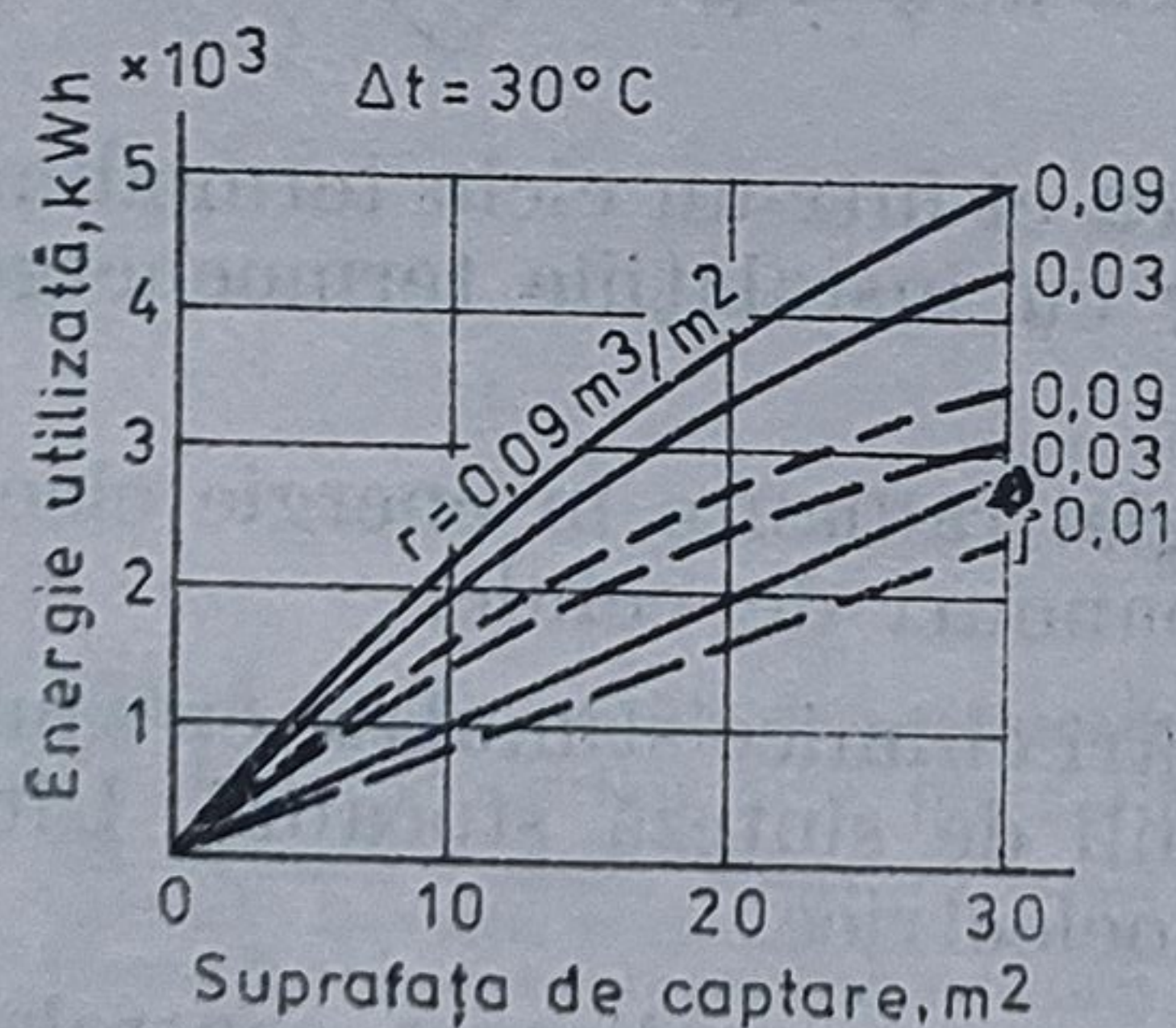
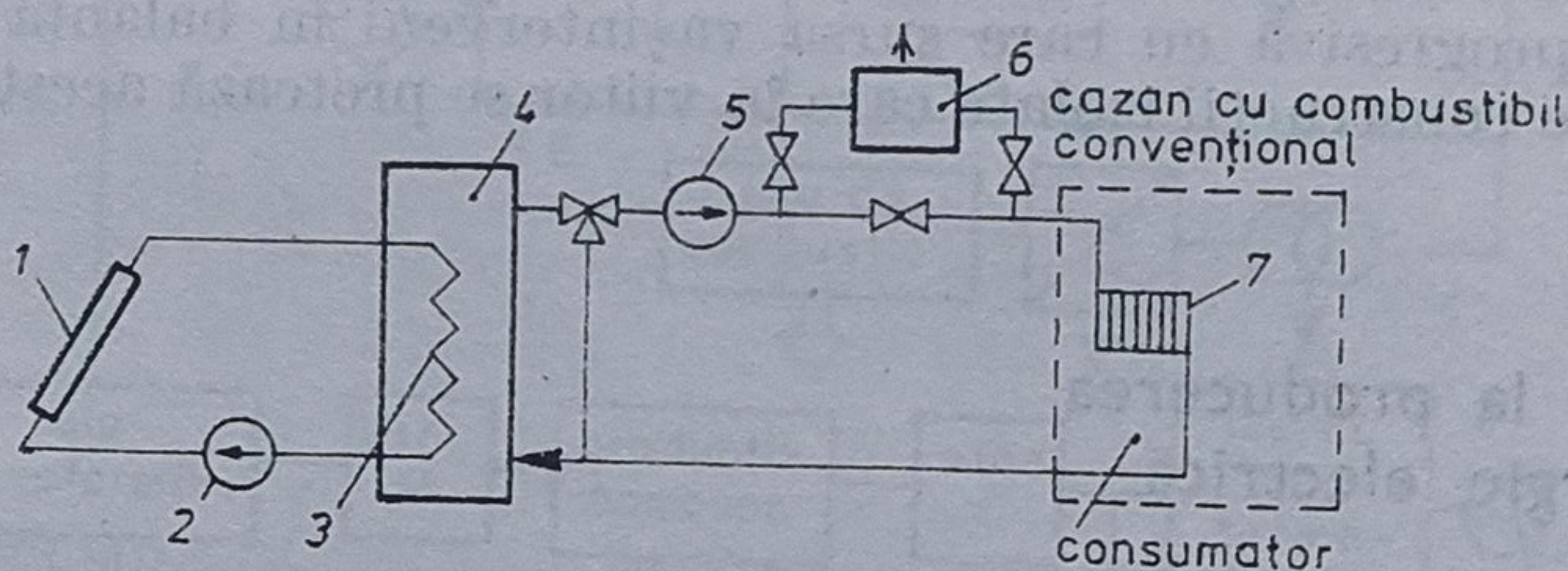


a.

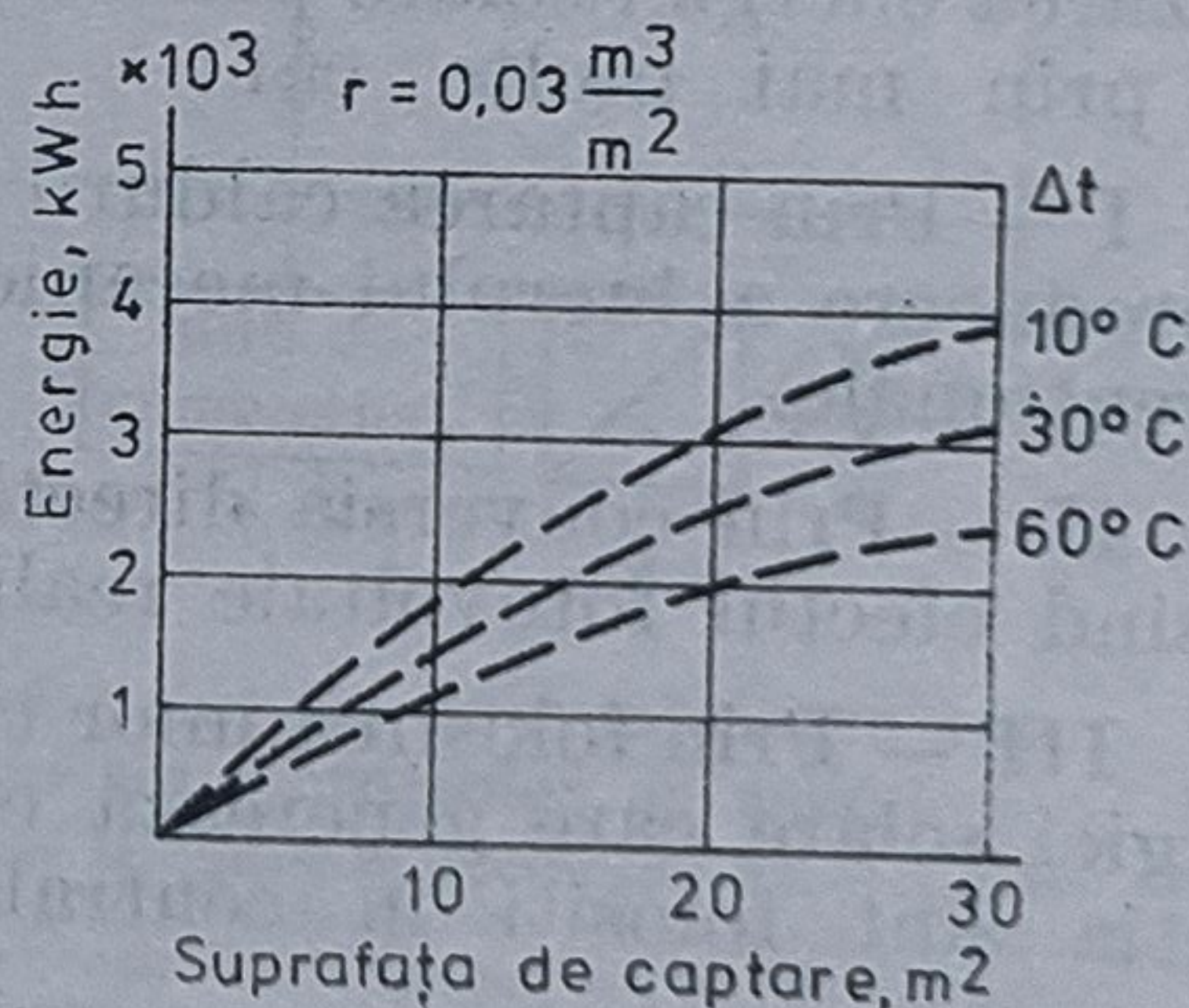


b.

## Instalații integrate



a



b

**Fig. 4.** — Sisteme de încălzire solară, completate cu surse pe bază de combustibil convențional:

1 — captator solar; 2 — pomparea fluidului primar (cu punct de îngheț coborât); 3 — schimbător de căldură; 4 — acumulator de apă caldă; 5 — pomparea apei în circuitul de încălzire. Diagrama a — variația energiei din surse solare în funcție de suprafața de captare și de mărimea acumulării. Diagrama b — variația energiei din surse solare în funcție de diferența de temperatură între fluidul de încălzire și încălțita încălzită: — colectoare solare în nordul țării; — — — colectoare solare în sudul țării.



giei solare (în zona de sud) de  $31 \div 50\%$  în cazul instalațiilor integrate și de  $43 \div 51\%$  la cele cu încălzire suplimentară separată.

Se deduce că reducerea diferenței de temperatură are o importanță mai mare la instalațiile integrate și mai redusă la cele separate.

În toate cazurile se conchide: (a) că participarea sursei solare nu depășește practic  $50\%$  din totalul nevoilor, chiar dacă are loc o dimensiune largă a instalației; (b) că energia solară utilizată crește neliniar și mai încet în raport cu suprafața captatoarelor. Aceasta este de natură a conduce la un optim de suprafață de captatoare în funcție de costul combustibilului convențional, și la o participare sub  $50\%$ .

În ceea ce privește extinderea încălzirii solare în zone cu încălzire preluabilă din centrale electrice de termoficare convenționale sau nucleare sau prin recuperări de resurse energetice secundare, se constată că efectul economiei de energie primară prin termoficare se reduce și eficiența încălzirii solare este limitată. Ținând cont că termoficarea este legată de urbanizare cu concentrație mare de consum de căldură, în blocuri cu mai multe etaje și cu densitate mare a construcțiilor, rezultă că oricum această categorie de construcții, care în viitorul îndepărtat va cuprinde peste  $50\%$  din fondul locativ (și deci din nevoile de încălzire ale populației), este ultima care ar urma să fie analizată pentru adaptare la încălzirea solară.

Domeniul prim de introducere a încălzirii solare este cel al caselor izolate și de înălțime redusă, mai ales în zonele unde lipsa unor resurse locale, implică folosirea hidrocarburilor și a gazului natural.

Cota progresivă cu care sursa va interveni în balanță va depinde și de cota de construcții izolate care în viitor se pretează acestui sistem de încălzire.

### 3. Aportul la producerea de energie electrică

Utilizarea energiei solare pentru producerea de energie electrică este posibilă prin mai multe căi:

I — Prin captarea căldurii și folosirea ei într-un ciclu termodinamic de producere a lucrului mecanic, similar cu instalațiile termoelectrice convenționale.

II — Prin conversia directă a energiei radiante în energie electrică folosind efectul fotovoltaic realizat în panouri de celule.

III — Prin folosirea unor transformări chimice stimulate cu ajutorul energiei solare care generează combustibili de sinteză stocabili. Ulterior aceștia sînt folosiți în centralele termoelectrice.

IV — Prin folosirea energiei solare pentru realizarea controlată a unor transformări biologice, producătoare la rîndul lor de biomasă sau degajînd gaze, ambele folosibile sub forma unor combustibili derivați în centralele termoelectrice adaptate arderii acestora.

În figura 5 este arătat tabloul general al acestor transformări, prezentînd totodată punctele și mijloacele de stocare a energiei care stau la dispoziție în cadrul fiecărei soluții.



Din acest punct de vedere rezultă că în timp ce în cadrul procedeeelor I, III și IV stocurile fac parte din însăși ansamblul instalațiilor energetice solare, în cazul II, al celulelor fotovoltaice, la nivelul posibilităților pre-

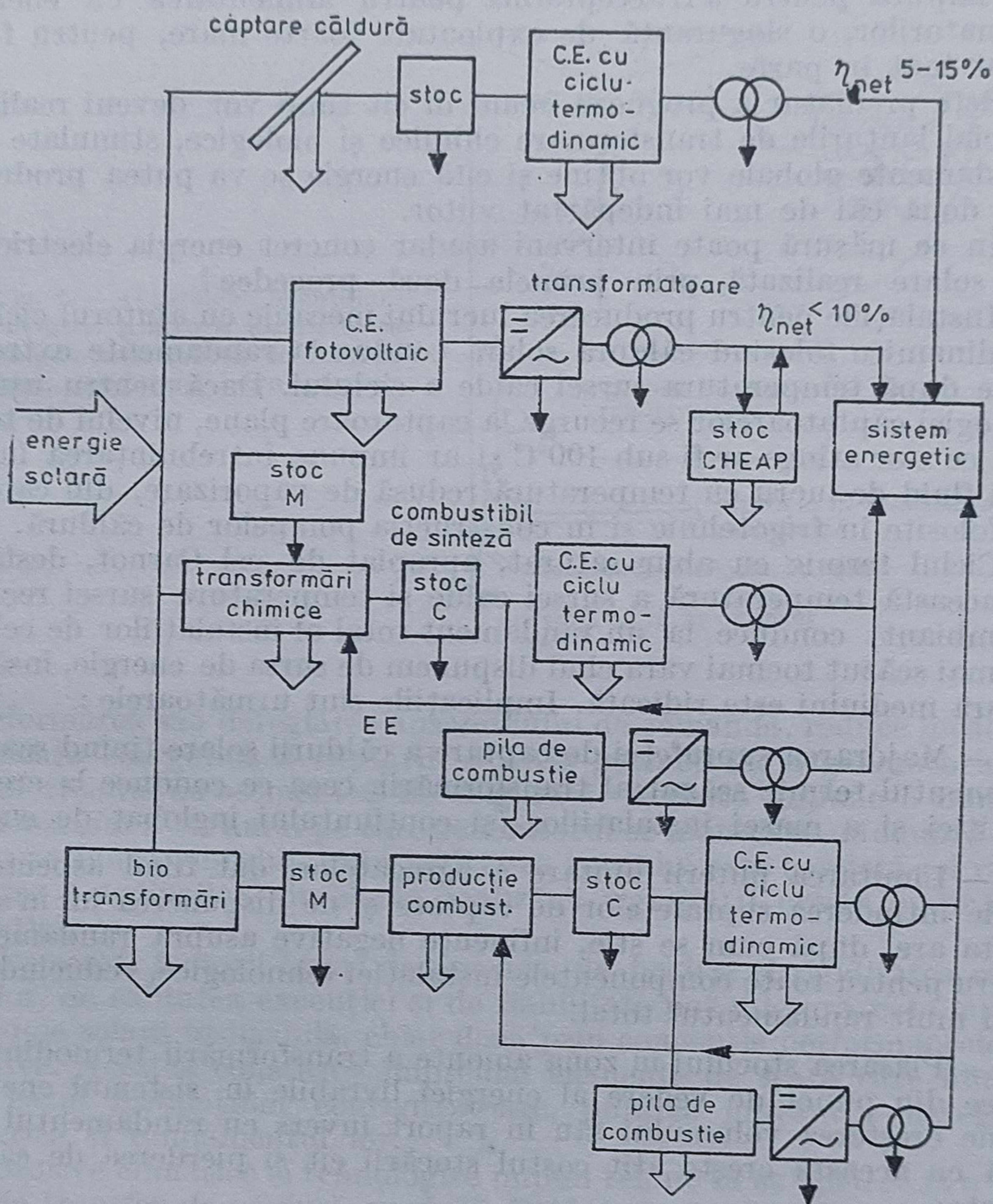


Fig. 5. — Modalități de producere a energiei electrice din surse solare, cu arătarea stocurilor și a pierderilor din lanțul transformărilor de energie :

CE — centrală electrică; CHEAP — centrală hidroelectrică cu acumulare prin pompă; EE — energie electrică; Q — stoc de căldură (compensare orar-zilnică); M — stoc de materii prime și de produse intermediare (compensare săptămânal-lunară); C — stoc de combustibil (compensare săptămânal-lunară).

zente, acumularea energiei s-ar obține în modul cel mai eficient în sistemul energetic, pe calea instalațiilor hidroenergetice cu pompă prin acumulare.

În timp ce prima cale de transformare se bazează în bună parte pe componente existente sau în curs avansat de dezvoltare tehnică și poate intra în discuție realizarea comercială dependent exclusiv de condițiile economice, cea de a doua cale de transformare încă legată de dezvoltarea



unor celule fotovoltaice, mai ieftine de cel puțin 100 ori față de cele construite pînă acum, bazate pe materiale mai ușor accesibile și supuse unor experimente îndelungate de fiabilitate în funcționare. Numărul mare de elemente legate în paralel și în serie într-o instalație de conversie fotovoltaică, implică pentru a fi acceptabilă pentru alimentarea cu energie a consumatorilor, o singuranță de exploatare foarte mare, pentru fiecare element luat în parte.

Este prematur a prognoza acum în cît timp vor deveni realizabile comercial lanțurile de transformare chimice și biologice, stimulate solar, ce randamente globale vor obține și cîtă energie se va putea produce pe aceste două căi de mai îndepărtat viitor.

În ce măsură poate interveni așadar concret energia electrică din surse solare realizată prin primele două procedee?

Instalațiile pentru producerea lucrului mecanic cu ajutorul ciclurilor termodinamice folosind căldură solară conduc la randamente extrem de diferite după temperatura sursei calde a ciclului. Dacă pentru ușurarea tehnologiei captatoarelor se recurge la captatoare plane, nivelul de temperatură ce s-ar atinge ar fi sub  $100^{\circ}\text{C}$  și ar impune întrebuințarea în ciclu a unui fluid de lucru cu temperatură redusă de vaporizare, din categoria celor folosite în frigotehnie și în construcția pompelor de căldură.

Ciclul termic cu abur saturat, apropiat de cel Carnot, desfășurat între această temperatură a sursei calde și temperatura sursei reci (mediul ambiant) conduce la un randament total al instalațiilor de cel mult 10 %, mai scăzut tocmai vara cînd dispunem de sursa de energie, însă temperatura mediului este ridicată. Implicațiile sînt următoarele :

- Majorarea suprafeței de captare a căldurii solare ținînd seamă de randamentul termic scăzut al transformării, ceea ce conduce la creșterea investiției și a masei instalațiilor (și conținutului înglobat de energie).

- Limitarea puterii unitare a agregatelor, dat fiind aspectele legate de întinderea suprafețelor de captare și de dispunerea lor în spațiu. Aceasta are, după cum se știe, influențe negative asupra randamentelor de lucru pentru toate componentele instalației tehnologice, reducînd astfel și mai mult randamentul total.

- Plasarea stocului în zona amonte a transformării termodinamice, ceea ce din punct de vedere al energiei livrabile în sistemul energetic, impune creșterea volumului său în raport invers cu randamentul total. Odată cu aceasta crește atît costul stocării cît și pierderea de căldură, prin stoc.

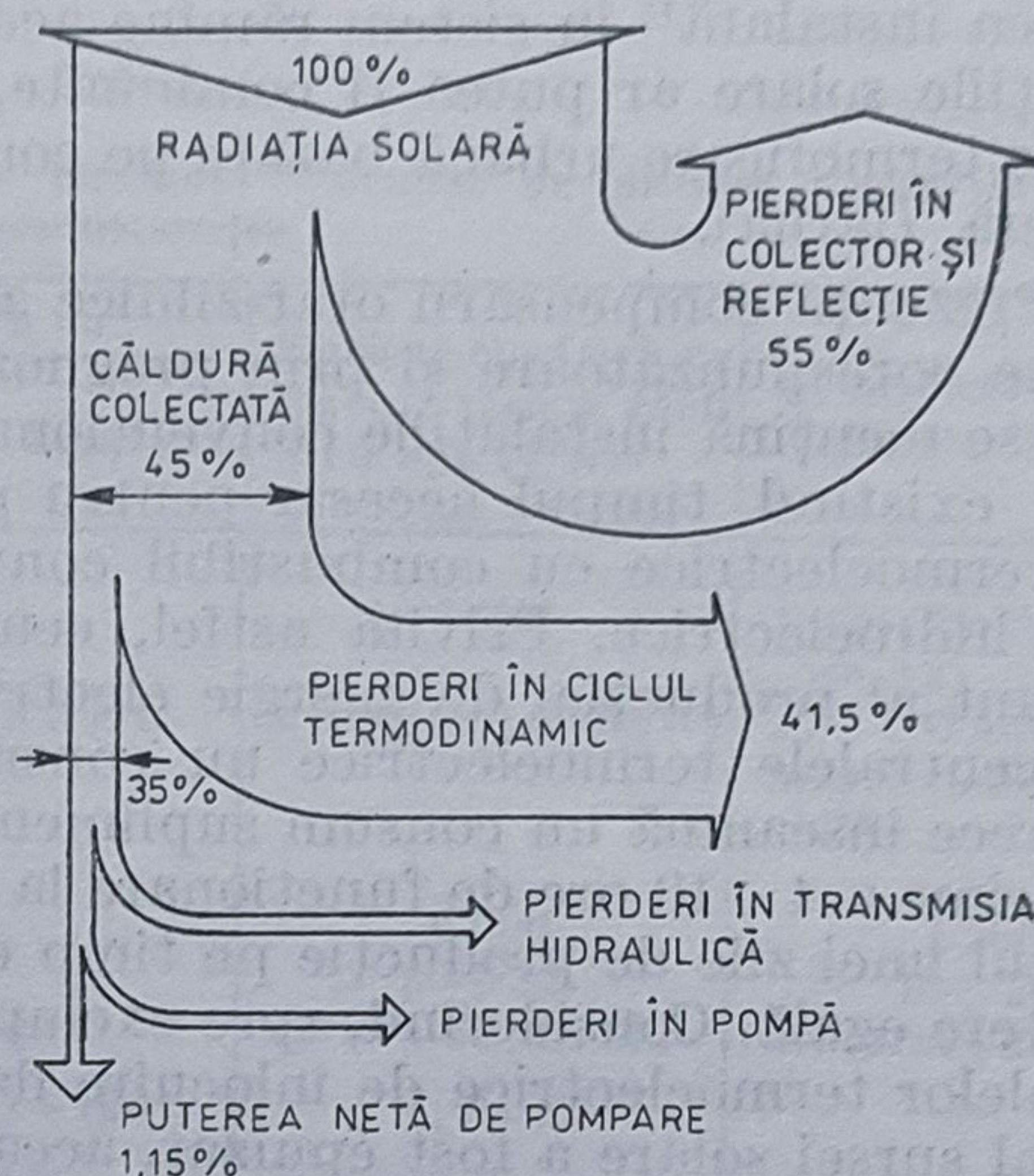
Un exemplu de bilanț energetic pentru o instalație solară cu temperatură coborîtă, folosită pentru producerea lucrului mecanic și antrenarea unei pompe este arătat în figura 6. Randamentul pentru producerea lucrului mecanic este de 3,5 % iar cel referitor la energia utilă de pompare de 1,15 %.

Instalațiile centralelor solar-electrice folosind concentrarea energiei incidente asupra unor puncte în care se instalează generatoare de căldură, cu potențial ridicat de temperatură, au din punct de vedere al randamentului termodinamic, avantaje asupra procedei de mai sus. Ele reclamă însă o tehnologie deosebit de complexă atît pentru oglinzile concentratoare cît și pentru orientarea lor. Condițiile de precizie ale orientării cresc pe



măsura măririi suprafeței acoperite cu oglinzi impunînd sisteme pretențioase de comandă automată. Chiar numai acest detaliu este în măsură să evidențieze cît de complexe și variate sînt problemele de care depinde buna funcționare a instalațiilor. Orice defect de orientare din montaj sau

Fig. 6. — Diagrama bilanțului energetic pentru o instalație solară cu nivel coborît de temperatură, producînd lucru mecanic.



din deformarea sau dereglarea ansamblului de comandă, reduce focalizarea și eficiența energetică a captării. Poziția geometrică a generatorului de căldură trebuie de asemenea să fie asigurată. Aceasta impune o dimensionare deosebită a turnului pe care generatorul se montează, făcîndu-l insensibil la acțiunea vîntului. Cum înălțimea turnului este corelată cu raza de instalare a oglinzilor, problema realizării rigidității crește cu mărimea instalației.

Pe scurt, factorii legați de precizie, de poziția și rigiditatea componentelor, de calitatea execuției și de fiabilitate pot micșora cota practică de energie solară utilizabilă, chiar dacă prin concepție performanțele apar atractive. Acestea constituie împreună elemente de scară care limitează și în cazul instalațiilor concentratoare, puterea unitară a agregatelor energetice și randamentul lor.

Motive climatice și tehnologice impun tehnic să se apeleze la o instalație de transfer de căldură cu două fluide cu un circuit primar parcurs de un fluid cu presiune redusă de saturație, caracteristici bune de transfer de căldură, de transport și stocare și punct de îngheț sub temperatura minimă atmosferică, și un al doilea circuit, cel energetic, în care pentru simplificarea fluidului de lucru ar putea fi apa transformată în abur saturat, destins apoi în turbine obișnuite.

Trecerea căldurii de la un circuit la altul are loc cu o reducere de temperatură și deci cu pierderi exergetice, limitînd energia utilă produsă. Stocarea căldurii prin fluidul de lucru permite în toate cazurile de mai sus să se realizeze o compensare orară zilnică, uniformizînd astfel aportul energetic în sistem și dirijîndu-l spre orele de vîrf, ceea ce apare avantajos pentru funcționarea celorlalte instalații ale sistemului.



Instalarea de putere în centrale electrice solare cu cicluri termodinamice nu scutește sistemul energetic de a fi dotat cu puteri echivalente în centrale electrice de intervenție pentru perioadele absenței sursei solare. Vîrfurile maxime de consum de putere electrică în sistemul energetic are loc în perioada de iarnă simultan cu aportul minim al energiei solare, iar „puterea instalată” în sistem rămîne aceeași. Din acest punct de vedere, instalațiile solare ar putea fi combinate, pentru viitor cu centrale electrice de termoficare urbană bazate pe combustibil inferior, cu funcționare sezonieră (iarna).

Prezența compensării orar-zilnice ar permite ca prin măsuri organizatorice corespunzătoare și prin prognoză adecvată să existe posibilitatea să se mențină instalațiile convenționale de înlocuire în rezervă statică (rece), existînd timpul necesar pentru pornirea programată a unor centrale termoelectrice cu combustibil convențional și cu atît mai mult a unora hidroelectrice. Privită astfel, centrala electrică solară devine un adjuvant al producției de energie electrică. Chiar dacă în timpul staționării centralele termoelectrice nu consumă combustibil, fiecare pornire de la rece înseamnă un consum suplimentar de combustibil avînd ordinul de mărime a  $4 \div 10$  ore de funcționare la plină sarcină, adică practic echivalentul unei zile de producție pe timp de vară a centralei solar-electrice de putere egală. Considerînd, spre exemplu, numai zece porniri anuale ale centralelor termoelectrice de înlocuire datorate faptului că stocul de căldură al sursei solare a fost epuizat, aceasta ar corespunde cu un consum suplimentar de combustibil convențional echivalent cu  $5 \div 10\%$  din cel economisit grație intervenției energiei solare. Așadar, privind producția utilă (netă), de energie electrică, cotei folosite din surse solare trebuie să i se aplice un coeficient de corecție subunitar de  $0,9 \div 0,95$ .

Întreaga căldură evacuată în sursa rece se disipează în mediul înconjurător. Cum această cantitate este, datorită randamentului scăzut al ciclului termic, cel puțin de trei ori mai mare decît căldura evacuată din centralele termoelectrice convenționale și de două ori mai mare decît cea evacuată din actualele centrale nuclear-electrice, rezultă că ultimul factor limitativ în dezvoltarea centralelor solar-electrice, cu ciclu termodinamic de transformare a energiei, este răcirea. Efectuată uscat, convectiv, cu aer, această răcire poate aduce vara temperatura sursei reci la  $+50^\circ\text{C}$ , înjumătățind randamentul și producția de energie utilă. Efectuată prin evaporare, cu turnuri de răcire umede, ea reclamă un consum de apă și leagă poziția centralei solare de surse de apă și de disponibilitatea acesteia pentru evaporare. Iată de ce pentru decizia instalării unor asemenea puteri urmează a fi analizați prin cercetări complexe de tip WELMM (apă, energie, teren, materiale, forță de muncă), toți factorii și în primul rînd impactul asupra celorlalți producători de energie din sistemul energetic.

Comparația efortului tehnic material și-a impactului asupra zonei de amplasare pentru o putere electrică netă de 1 000 MW instalată într-o centrală termoelectrică folosind cărbune, una nuclear electrică sau un ansamblu de centrale solar-electrice, este semnificativă pentru a aprecia ritmul posibil de penetrație al energiei electrice din surse solare sistemului energetic național.



În tabela de mai jos sînt sintetizate cu titlu informativ, adaptînd informațiile de specialitate [5], masele și volumele instalațiilor, masele materialelor deplasate pe timp de 20 ani pentru alimentarea cu combustibili și asigurarea minereurilor necesare și suprafețele de teren ocupate, respectiv deranjate temporar de lucrările miniere.

Tabela 1

Comparația consumului de materiale și a terenului \*) ocupat de diferite tipuri de centrale termoelectrice

Felul centralei electrice	Termoelectrică cu :		Nuclear-electrică cu reactor termic răcit cu apă (I.WR)	Solar-electrică cu heliostat și turn
	huilă	lignit		
Puterea electrică, MW	1 000		1 000	1 000 (maximă la ora 12)
Realizarea	1 amplasament cu 3 grupuri de 333 MWe		1 grup de 1 000 MWe	20 ÷ 100 amplasamente cu 50 ÷ 10 MWe
Energia anuală livrată, GWh	5 000		6 000	1 200
Randament, %	34 ÷ 36		30 ÷ 32	18 ÷ 20
Teren ocupat, km <sup>2</sup>	sursa de cărbune : 5 ÷ 25   50 ÷ 100 centrala electrică :		cariera de uraniu 7,5 ÷ 37 centrala și zona de excludere :	heliostat : 20 ÷ 30 centralele : 0,5
Total (max), km <sup>2</sup>	0,3 25,3	0,35 100,35	0,5 37,5	30,5
Masa obiectivului, 10 <sup>6</sup> t	0,3	0,4	0,5 ÷ 0,6	centralele : 0,35 heliostate : 1 ÷ 3
Mișcări de materiale : — minereu și echipamente, 10 <sup>6</sup> t — combustibil pe 20 ani, 10 <sup>6</sup> t	2 50	2,5 175	3 ÷ 3,5 minereu uraniu 50 (combustibil prelucrat 0,01)	8 ÷ 20

\*) valori adaptate după [5].

În cazul folosirii de instalații fotovoltaice pentru conversia energiei solare, se realizează acumulatori de energie în procesul de conversie iar puterea electrică produsă depinde permanent de intensitatea momentană a radiației.

Pentru a judeca în ce mod și în ce proporții poate fi folosită în asemenea cazuri energia solară, sînt de avut în vedere ambele posibilități de intervenție a conversiei fotovoltaice în producerea cu energie electrică și anume prin : instalații de putere redusă, alimentînd consumatori izolați ; instalații de putere medie racordate la sistemul energetic național.

În primul caz cota de energie solară posibil a fi utilizată depinde de mărimea acumulării de energie electrică și de randamentul acestei acumulări. Cum toate acumulatorii electrice, chiar cele dezvoltate în prezent, sînt energointensive din punct de vedere al materialelor folosite și



au, pe de altă parte, randamente sub 70 %, rezultă că instalația de acumulare este cea care determină atât mărimea instalației de captare cât și mărimea instalațiilor energetice de înlocuire și de rezervă și cota de combustibil convențional necesar. Pentru sursele izolate de putere redusă intră în discuție ca instalații de rezervă grupurile electrogene cu motoare cu ardere internă și deci, cota de energie solară folosită, trebuie asociată cu o cantitate de hidrocarburi consumate suplimentar. Contribuția energetică a acestei categorii de instalații, în țara noastră, apreciez că ar fi lipsită de semnificație.

În cel de-al doilea caz, funcționarea instalațiilor solare electrice, în paralel cu sistemul energetic, ar permite ca întreaga suplinire a puterii neproduse din surse solare, în timpul nopții și a perioadelor cu insolare redusă, să fie preluată de instalațiile existente de producerea energiei, în principal de cele cu manevrabilitate ridicată, cum sînt centralele hidro-electrice cu acumulare. În acest caz instalarea de putere solar-electrică ar trebui conjugată cu instalații de centrale hidroelectrice cu acumularea apei prin pompare.

Dacă am lua ca exemplu curba de sarcină actuală a sistemului energetic național pentru o zi caracteristică de săptămîină în perioada echinoxului și i-am aplica intervenția surselor fotovoltaice într-o zi senină, se observă :

- o ușoară limitare a vîrfului de putere de dimineată ;
- o adîncire a golului de prînz care astfel se apropie de puterea golului de noapte ;
- o lipsă de intervenție în timpul puterii maxime din timpul unei zile, vîrf de seară al sistemului.

Intervenția surselor fotovoltaice în ipoteza că ele ar reprezenta 5 %, respectiv 10 %, din puterea electrică de vîrf a sistemului este prezentată pe figura 7.

Încărcarea de noapte a sistemului reprezintă circa 80 % din valoarea puterii de vîrf, iar coeficientul zilnic de utilizare a vîrfului aproape 88 %. În aceste condiții o putere de 10 % din vîrf produsă vara din surse solare creează un gol de prînz la nivelul celei de noapte. Astfel, din punct de vedere al sistemului energetic se poate afirma că : puterea instalată și puterea efectiv utilizabilă cerute de funcționarea sigură rămîn aceleași ; energia electrică din surse solare înlocuiește energia produsă în zona de semivîrf, deci în instalații termoelectrice mijlocii și în centrale hidro-electrice ; rezerva turnantă a sistemului trebuie majorată la o valoare cel puțin egală cu puterea maximă a centralei solare. Numai astfel pot fi preluate reducerile rapide de putere provenite în urma înnoirilor intempestive.

Ascuțirea vîrfului de putere de seară în timpul verii influențează negativ funcționarea celorlalte instalații de vîrf ale sistemului. Aceasta modifică regimul de participare al centralelor hidroelectrice și conduce și la un spor de consum specific de combustibil în centralele termoelectrice corespunzător măririi rezervei turnante și deci a reducerii gradului lor de încărcare.

Nepotrivirea între cererile de putere și puterea momentană utilizabilă a surselor fotovoltaice ar putea fi atenuată prin stocare de energie cu ajutorul unor instalații hidroenergetice cu acumulare prin pompare.



Așadar participarea în sistem a surselor fotovoltaice are asupra centralelor hidroelectrice consecințe similare cu prezența centralelor nucleare electrice; prezența sporită de putere provenită din acumulări hidraulice

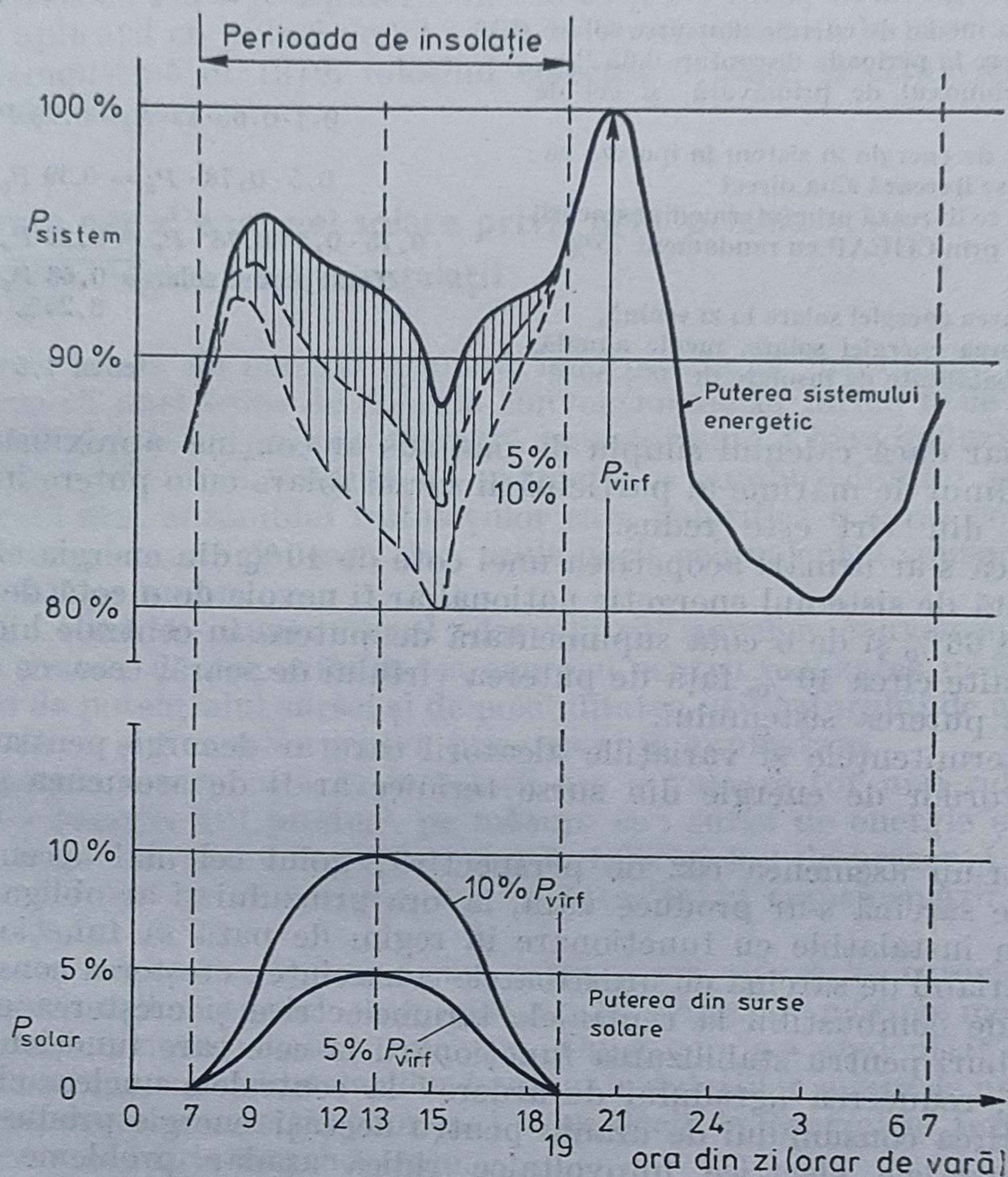


Fig. 7. — Curba de sarcină zilnică a sistemului energetic și intervenția posibilă a puterii electrice produsă din sursă solară pe baza efectului fotovoltaic (fără acumulare de energie în instalația energetică solară).

prin pompare, cu precizarea că în timp ce în prezența centralelor nucleare electrice, centralele cu pompaj au o funcționare ciclică, în cazul celor fotovoltaice ele au o componentă de funcționare puternic aleatorie. Este cunoscut că centralele hidroelectrice cu acumulare prin pompare au un randament de  $70 \div 75\%$ , ceea ce se repercutează asupra aportului net de energie din surse solare în sistem.

Considerînd situația arătată în figura 5 extrapolată pentru un vîrf de seară de 20 000 MW, rezultă că puterea racordată din surse fotovoltaice ar reprezenta maximum 2 000 MW (o arie de colectoare de cel puțin  $40 \text{ km}^2$ ). La această investiție considerabilă apreciez că s-ar adăuga o putere suplimentară în centrale hidroelectrice cu pompaj (CHEAP).



Aportul net al energiei solare s-ar calcula după cum urmează :

- consum de energie al sistemului într-o zi cu putere medie cu 0,88 % din puterea de vîrf  $P_v$ 

$$0,88 \cdot 24 \cdot P_v = 21,1 P_v$$
- producția medie de energie din surse solare, cu o putere în perioada de captare  $0,05 P_{\max}$  (între echinoxul de primăvară și cel de toamnă)
 
$$0,1 \cdot 0,05 \cdot 12 \cdot P_v = 0,78 P_v$$
- aport net de energie în sistem în ipoteza că :
  - 50 % se livrează ziua direct
  - 50 % se livrează prin intermediul stocării prin CHEAP cu randament 75 %
$$0,5 \cdot 0,78 \cdot P_v = 0,39 P_v$$

$$0,75 \cdot 0,5 \cdot 0,78 \cdot P_v = 0,29 P_v$$

$$\text{Total produs solar} = 0,68 P_v$$

$$3,25\%$$
- participarea energiei solare în zi senină,
- participarea energiei solare, medie anuală, la o probabilitate de insolare de 45÷50 %
 
$$\text{circa } 1,5\%$$

Chiar dacă calculul simplu de mai sus ar conține aproximații groșiere, ordinul de mărime al participării sursei solare cu o putere instalată de 10 % din vîrf este redus.

Dacă s-ar urmări acoperirea unei cote de 10 % din energia electrică consumată de sistemul energetic național ar fi nevoie de o cotă de putere solară de 66 % și de o cotă suplimentară de putere în centrale hidroelectrice de alte circa 40 %, față de puterea vîrfului de seară, ceea ce practic ar dubla puterea sistemului.

Intermitențele și variațiile aleatorii care ar decurge pentru restul producătorilor de energie din surse termice ar fi de asemenea greu de preluat.

Într-un asemenea caz de perspectivă, golul cel mai accentuat al curbei de sarcină s-ar produce vara, la ora prînzului și ar obliga o cotă mare din instalațiile cu funcționare în regim de bază să funcționeze în regim variabil de sarcină cu următoarele consecințe : creșterea consumului specific de combustibil la centralele termoelectrice și creșterea cotei de hidrocarburi pentru stabilizarea funcționării la cele care funcționează cu cărbune ; reducerea „gradului de ardere” la centralele nuclear-electrice, deci mărirea consumului de uraniu pentru aceeași energie produsă.

Centralele electrice fotovoltaice ridică așadar probleme directe și indirecte în sistemul energetic, toate avînd drept consecințe majorări de investiții și costuri suplimentare de producție.

Cu toate elementele atractive ale procesului de conversie directă, trecerea de la faza de cercetare la cea a implementării impune o atentă analiză de sistem. Personal apreciez că folosirea surselor fotovoltaice va fi în măsură să aducă în sistemul energetic național numai cantități limitate de energie și că pe această cale ar putea fi alimentați cu precădere consumatori mici și izolați.

În plus atrage atenția și un studiu de ansamblu al riscului pentru societate cauzat de diferitele alternative de alimentare cu energie. În privința instalațiilor fotovoltaice, riscul direct este minor. Instalațiile se bazează însă pe produse de siliciu, iar industria chimică a siliciului produce un risc indirect de poluare care, după aprecieri recente din Canada, ar fi sensibil mai mare decît cel datorat centralelor nuclearelectrice sau al celor termoelectrice cu cărbune.



Ca perspectivă, producerea de energie din surse fotovoltaice va putea atinge în anul 2000 în total 50 000 MW, raportat la puterea totală instalată în 1978 de 500 000 MW. Aceasta ar reprezenta la nivelul anului 2000 o participare cu cca 7 % la puterea instalată și 1 ÷ 1,5 % la energia produsă. Primele aplicații cu puteri de 20 ÷ 500 MWe ar porni de la nivelul fezabilității demonstrat în 1979, folosind colectoare plate și celule cu monocristale de siliciu.

#### 4. Aportul net al energiei solare privit prin prizma energiei înglobate în instalații

Cantitatea totală de energie primară incorporată în instalațiile necesare transformării unei surse de energie convenționale în forme utile este nesemnificativă față de energia primară transformată. Chiar incluzând energia incorporată în instalațiile de extracție a combustibilului și pentru transportul său, ansamblul instalațiilor care valorifică o sursă convențională de energie nu înglobează mai mult decât echivalentul consumului de combustibil pe un an.

Din această cauză ritmul dezvoltării surselor convenționale nu depinde practic de disponibilitatea energiei pentru realizarea instalațiilor, ci numai de potențialul sursei și de posibilitatea utilizatorului de a efectua efortul tehnic și financiar pentru punerea ei în exploatare.

Energia incorporată în instalații are o valoare tot mai ridicată în raport cu energia util produsă pe măsură ce : sursa de energie este mai difuză ; numărul de ore de utilizare a instalației sau de prezență a sursei în decursul unui an este mai redus ; randamentul transformării energiei este mai mic.

Toate sursele noi de energie, inclusiv cea solară se caracterizează prin concentrații energetice cu cel puțin două ordine de mărime mai reduse decât sursele convenționale și nucleare. După cum s-a evidențiat și în tabelul de mai sus, masa instalațiilor în cazul instalațiilor solare de producere a energiei electrice este simțitor mai mare decât la centralele termo-electrice, convenționale sau nucleare.

Chiar la tehnologii simple, pentru valorificarea prin captatoare plane, la nivel coborât de temperatură, implică incorporarea unei cantități importante de energie în utilaje. Calcule efectuate la nivelul actual de realizare a instalațiilor, ținând cont de toate componentele necesare arată că se încorporează o cantitate de energie echivalentă cu cantitatea de combustibil convențional înlocuit pe o perioadă de 3 ÷ 4 ani.

Această valoare reiese din raportarea energiei primare incorporate corespunzătoare unui metru pătrat de captator solar, inclusiv toate instalațiile de transfer și stocare a căldurii la combustibilul convențional efectiv înlocuit pentru a obține același efect util.

În cadrul analizei am considerat spre exemplu :

— Pentru energia incorporată, 110 ÷ 150 kg/m<sup>2</sup> combustibil convențional în materialele instalației plus 40 kg/m<sup>2</sup> pentru fabricația, adaptarea construcției și montaj, în total deci 150 ÷ 190 kg ce aferent unui m<sup>2</sup> de captator.



— Pentru combustibilul convențional înlocuit,  $\Delta b$

$$\Delta b = \frac{q_i \eta_{s \text{ tot}} K}{\eta_{ct}} - b_{\text{net}} \cdot N_p \cdot \tau \text{ (în kg cc/m}^2 \text{ an)},$$

unde  $q_i$  este energia solară incidentă anual pe un  $\text{m}^2$  de captator,  $\eta_{s \text{ tot}}$  — randamentul total al instalației solare, considerat 50–60 %;  $\eta_{ct}$  — randamentul total al centralei termice de încălzire înlocuite, considerat 75 %;  $b_{\text{net}}$  — consumul de combustibil pentru energia electrică consumată pentru funcționarea instalației solare, în prezent apreciată la 0,36 kg · c.c./kWh în punctul de consum;  $N_p$  — puterea de pompare, cuprinsă între 3 ÷ 5 W/ $\text{m}^2$  de captator și  $\tau$  — durata anuală a pompării, variind între 2 000 și 2 500 ore/an;  $K$  — coeficient care ține seama de reducerea performanțelor în exploatare, datorită murdăririi ( $K = 0,96$ ).

În aceste condiții pentru pompare rezultă un echivalent anual de consum de combustibil pentru energia electrică în medie de 4 kg cc/ $\text{m}^2$ , iar valoarea  $\Delta b$  se ridică la 50 ÷ 65 kg cc/ $\text{m}^2$ , anual, în condițiile de insolare din țara noastră. (Fără a considera efectul pompării, valoarea ar fi 54 ÷ 69 kg cc/ $\text{m}^2$  an).

Dacă considerăm o dezvoltare exponențială a instalațiilor din surse solare, cu o rată anuală constantă  $p$ , înlocuind o cantitate de combustibil convențional  $B_1$ , în primul an de implementare a programului, se obține în anul  $n$  o economie de combustibil:  $B_n = B_1[1 + (1 + p) + \dots + (1 + p)^{n-1}]$ .

Dacă admitem că în echipamente se incorporează o cantitate de energie echivalentă în combustibil convențional cu  $jB$ , unde  $j$  are semnificația numărului de ani și  $B$  cantitatea de combustibil înlocuit anual, deducem că în anul  $n$  se consumă în economia națională o cantitate de energie primară de  $B_{cn} = B_1(1 + p)^n[1 + (j - 1)(1 + p)]$ .

Valoarea este dedusă în ipoteza că ciclul de realizare a instalațiilor solare este de doi ani, iar în primul an se consumă energia primară  $(j - 1)B$  iar în al doilea energia  $B$ .

Aportul net al energiei solare în anul  $n$  are deci valoarea  $B_n^{\text{net}} = B_n - B_{cn}$ .

Bilanțul cumulat al participării energiei solare din anul  $-1$  în care începe consumul pentru realizarea instalațiilor, pînă în anul  $n$  al programului, are valoarea

$$B_n^{\text{net}} = \sum_1^n B_i - \sum_{-1}^n B_{ci}.$$

În diagrama din figura 8 este arătată evoluția balanței anuale de energie și a balanței cumulate de energie rezultată din aplicarea unui program de energie solară cu o rată de creștere a suprafețelor nou instalate anual,  $p = 7\%$  și  $15\%$  și cu  $j = 3$  respectiv 4 ani.

Din analiza figurii rezultă următoarele: bilanțul anual de energie este pasiv în primii ani și devine pozitiv după 4 ÷ 5 ani dacă  $j = 3$  și după 4,5 ÷ 7 ani dacă  $j = 4$ ; balanța cumulată evidențiază că sursa este pasivă față de economia națională timp de 7 ÷ 9 ani dacă  $j = 3$  și 10 ÷ 13 ani dacă  $j = 4$ .



Reducerea cantității de energie incorporată este esențială pentru eficiența energetică a instalațiilor. De aici utilitatea îmbunătățirilor prin cercetări și inutilitatea promovării instalațiilor artisanale, care oricum

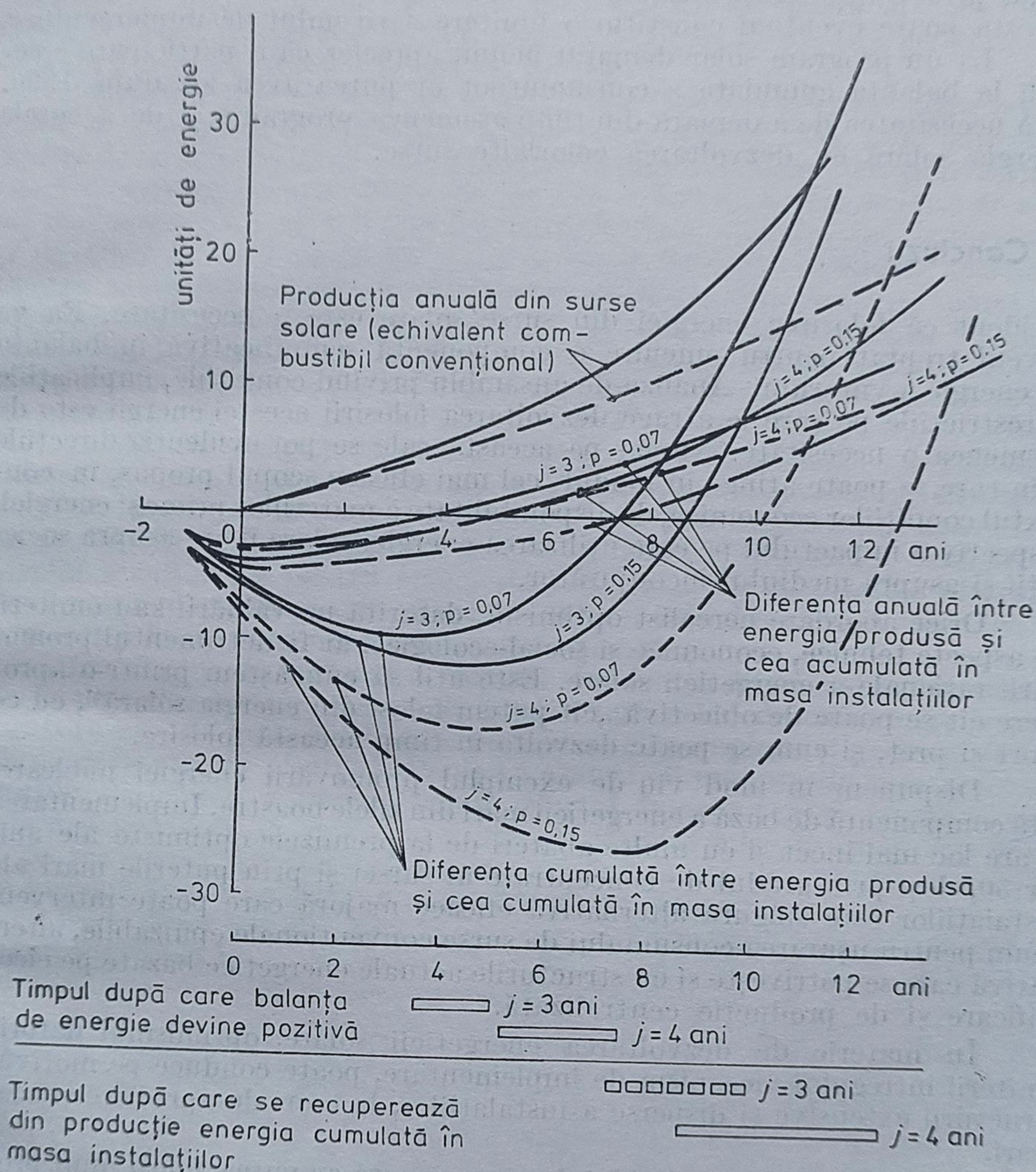


Fig. 8. — Energia produsă din instalații solare și cea înglobată în masa instalațiilor: aportul net anual și acumulat al instalațiilor energetice solare.

incorporează cantități mărite de materiale. De asemenea se impune găsirea de soluții de captatoare cu consumuri mai mici de aluminiu, cupru și sticlă pe metru pătrat, față de cele produse actual.

În cadrul unui program de promovare a energiei solare consumurile incorporate de energie sînt preluate din ansamblul economiei naționale, deci de alte surse. Pentru a putea promova energia solară în ritm ridicat,



este nevoie să se asigure această cantitate de energie primară din sursele principale folosite acum, la noi combustibil fosil, în viitor energie nucleară.

Restituirea către economie a acestui „credit în energie” se realizează prin combustibil înlocuit într-un număr relativ mare de ani, iar aceasta poate eventual constitui o limitare a ritmului de implementare.

La un program solar demarat acum, apreciez că o participare efectivă la balanța cumulată a consumurilor ar putea avea loc după 1990. Iată necesitatea de a demara din timp asemenea programe și de a corela energia solară cu dezvoltarea celorlalte surse.

## 5. Concluzii

Evident că folosirea energiei din surse solare este o necesitate. Ea va deveni treptat pentru omenire o componentă semnificativă în balanța de energie a viitorului. Analiza de ansamblu privind condițiile, implicațiile și restricțiile pe care le atrage dezvoltarea folosirii acestei energii este de asemenea o necesitate. Numai pe această cale se pot evidenția direcțiile prin care se poate atinge în modul cel mai eficace scopul propus, în contextul condițiilor economice, de disponibilitate a materiilor prime și energiei, respectiv a impactului pe care utilizarea energiei solare îl are asupra societății și asupra mediului înconjurător.

Orice abordare nerealist optimistă, datorită neevaluării sau omiterii de aspecte tehnice, economice și social-ecologice, ar fi detrimentul promovării raționale a energeticii solare. Este util să cunoaștem printr-o apropiere cât se poate de obiectivă „cât putem folosi din energia solară”, cu ce efort și preț, și cum se poate dezvolta în timp această folosire.

Disponem în mod viu de exemplul promovării energiei nucleare, altă componentă de bază a energeticii mari din zilele noastre. Implementarea ei are loc mai încet și cu multe abateri de la premisele optimiste ale anilor 50, deși prin gradul de concentrare al sursei și prin puterile mari ale instalațiilor este singura alternativă eficace majoră care poate interveni acum pentru ușurarea consumului de surse convenționale epuizabile, alternativă care se potrivește și cu structurile actuale energetice bazate pe electrificare și de producție centralizată.

În materie de dezvoltarea energeticii solare, optimismul datorit omiterii întregului mecanism de implementare, poate conduce pe motivul structurii extensive și disperse a instalațiilor, la erori de apreciere și mai mari.

Închei cu următoarele idei de sinteză care ar putea folosi unui program optimal de implementare rațională a acestei energii aparent nesfârșite și gratuite.

Cu tot potențialul teoretic nelimitat al sursei, cota ce poate fi preluată din energia solară radiantă este limitată de numeroase condiționări.

Cea mai importantă limitare este caracterul ciclic și aleator al sursei. Acestea leagă folosirea energiei solare de ample instalații de acumulare ce reduc efectul util prin randamentul lor subunitar și majorează atât costurile cât și consumul de materiale. Cercetarea privind realizarea de acumulări eficiente este strâns legată de dezvoltarea energiei solare.



Pentru majoritatea folosințelor este necesar să se apeleze la instalații hibride, în care o parte din nevoi urmează să fie acoperite în completare și pentru înlocuire din alte surse de energie. În cazul instalațiilor de încălzire cota ce poate fi preluată de energia solară nu depășește 50 % iar instalațiile eficiente economice construibile în alte țări în condiții geografice și climatice asemănătoare cu cele de la noi.

Randamentul limitat al captării și conversiei energiei solare reprezintă de asemenea o restricție. Ea impune întrebuințarea de suprafețe mărite de captare și aceasta mărește consumul de materiale și investiție. Efortul material pentru obținerea energiei solare utile este practic de zece ori mai mare decât cel necesar utilizării surselor convenționale superioare și de cinci ori mai mare decât cel necesar folosirii cărbunilor inferiori. Pentru toate folosințele, energia încorporată în echipamentele solare reprezintă echivalentul producției lor de energie pe mai mulți ani. În cazul unor tehnologii primitive și a unor captatoare ineficiente, producția de energie utilă pe durata de viață nu echivalează nici măcar energia încorporată. Așadar determinant pentru cota netă folosită din energia solară este nivelul tehnologiei și nivelul tehnic al producției de echipamente. Pentru eficiența implementării acestei surse apare necesar să se efectueze un efort deosebit de cercetare și proiectare tehnologică și de dezvoltare de prototipuri. Instalațiile artizanale și primitive sînt numai amăgiri la nivelul rezultatelor pentru economia națională. De rezultatele efortului de cercetare depinde pentru viitoarele decenii cota din energia solară ce va putea fi folosită înlocuind surse convenționale.

Instalațiile de utilizare a energiei sînt foarte diferite și se eșalonează de la procedee simple, aplicabile pentru apă caldă de consum și pentru încălzire pînă la procedee bazate pe tehnologii complexe și grele, necesare obținerii de energie electrică. Pentru a ajunge cît mai repede la cote semnificative de folosire a energiei solare, efortul de cercetare și cel tehnologic este rațional să fie îndreptat în prima etapă către tehnologiile ușoare, deci către înlocuirea consumului de combustibil convențional din utilizările de încălzit pentru populație și pentru unele industrii.

Spre deosebire de instalațiile care ard combustibili convenționali caracterul modular și cumulativ al instalațiilor solare face ca performanțele acestora să fie puțin influențate de factorul de scară.

Instalațiile solare sînt de introdus deci începînd cu consumatorii mici și dispersați. Cota de energie solară ce se poate utiliza la un moment dat depinde și de ponderea acestor consumatori mici. Creșterea cotei de folosire a sursei solare peste o anumită limită înseamnă atît restructurarea unor consumatori existenți cît și modificarea unor opțiuni majore în dezvoltarea urbanizării, a industriei și a sistemului energetic național.

Oricum în perioada de introducere a energiei solare, apar pe ansamblul economiei naționale consumuri de energie mai mari decât cele produse solar. Balanța este cu atît mai negativă cu cît rata aleasă de penetrație a energiei solare este mai mare. Aceasta ne conduce la două constatări finale: viteza de penetrație a surselor solare nu poate fi decît moderată, iar cote semnificative de intervenție în balanța de energie a țării nu pot fi așteptate înainte de ultimul deceniu al secolului nostru; programul de implementare a surselor solare implică pe o perioadă mare de timp disponibilizări de cantități de energie și de resurse de materii prime. Aceasta



înseamnă că efortul pentru energia solară nu înlocuiește ci se conjugă cu efortul pentru promovarea surselor nucleare și cu cel pentru economisirea energiei în toate domeniile de activitate. Căci nu va exista suficientă energie electrică pentru realizarea programului solar fără energie nucleară și efort de economisire, și evident nu va exista energie nucleară și spirit de economisire dacă așteptăm nerealist ca potențialul solar nelimitat să rezolve totul.

### Bibliografie

1. \* \* \* Fundamentals of Solar heating, U. S. Departament of Energy Ed., august, 1978.
2. J. ADNOT, R. GICQUEL, G. WATREMEZ, *Étude du comportement dynamique des boucles de captation de l'énergie solaire régulees par tout ou rien*, Revue Gén. de Thermique, 216, dec. (1979).
3. G. TAYLOR, *Bright prospects for solar cell electricity*, International Power Generation, 2, 7, 17—20 oct. (1979).
4. S. A. DUFFIE, W. A. BECKMAN, *Solar Energy Thermal processes*, Ed. J. Wiley & Sons, 1974.
5. M. GREVEN, B. LEPIILLONNE, *The WELMM Approach to energy strategies and options*, Raport RR76—19, IIASA—Luxemburg, Austria, dec. 1976.
6. J. LE QUÉSÉ, *Utilisation de l'énergie solaire pour le chauffage des logements : Calculs de l'énergie récupérable par des capteurs plans associés à un stockage*, Cahiers du centre technique du bâtiment nr. 188, apr. 1978, Paris.
7. \* \* \* *Sonnenkollektoren und Energiedachen*, Sonnenenergie & Wärmepumpe, 3, 23—49, mai/iun (1980).
8. N. NICULESCU, N. DAVID, S. LEWY, A. BĂDULESCU, *Soluții privind utilizarea energiei solare în cadrul sistemelor de termoficare*, Raport 1.24, a VIII-a Consfătuire a termoeenergeticienilor, Brașov, 1980.



## ENERGIA ZECILOR DE KILOWAȚI

Călin MIHĂILEANU<sup>\*)</sup>,  
Vladimir STOENESCU<sup>\*)</sup>

### 1. Caracteristicile surselor energetice de mică putere

Principalele surse energetice de mică putere sînt: energia solară, energia eoliană, energia geotermică și resursele energetice secundare (RES). Deși unele dintre ele, în cazuri particulare favorabile, pot fi luate în considerare și pentru realizarea unor aplicații de puteri mari, trebuie spus că, în general, la nivelul incipient de dezvoltare tehnică și tehnologică, respectiv cel folosit în prognozele pe termen scurt și mediu, domeniul lor este cel al aplicațiilor de mică putere.

Din punct de vedere energetic, o aplicație de mică putere trebuie caracterizată atît prin disponibilitatea și siguranța sursei, cît și prin interdependența cu consumatorul.

Energia geotermică și RES reprezintă surse cu disponibilitate foarte mare ( $7\,000 \div 8\,760$  h/an) și siguranță ridicată. Dacă în cazul RES problema consumatorului este relativ simplă, el existînd de obicei chiar în cadrul industrial care produce sursa, în cazul surselor geotermice problema se complică, în special dacă se urmărește utilizarea directă a sursei sub formă de căldură.

Energia solară și cea eoliană sînt surse cu disponibilitate mică ( $2\,000 \div 3\,500$  h/an) și cu un coeficient mic de siguranță. Din această cauză, în cazul aplicațiilor energetice care utilizează aceste surse, sistemele de acumulare a energiei și sistemele de rezervă pentru alimentarea cu energie a consumatorului joacă un rol foarte important. Deși au potențiale energetice mari, densitatea mică de putere a acestor surse ( $1\text{ kW/m}^2$  pentru energia solară și  $3 \div 5\text{ kW/m}^2$  pentru energia eoliană), corelată cu distribuția lor

Tens of kilowatts energetics  
(small-power energy sources)

A classification of the small-power energy sources (solar, wind, geothermal and industrial waste-heat), is presented. After a brief reviewing of their general features, the paper deals with the use of solar energy for power generation, via the thermodynamic conversion.

The 30 kWe solar pilot plant is presented. Specific components, i.e. solar flat-plate collectors, turbogenerator unit, are described. Some economic aspects are also discussed.

<sup>\*)</sup> Institutul de cercetări și modernizări energetice--  
ICEMENERG



teritorială, face ca aceste surse să fie avantajoase pentru asigurarea alimentării cu energie a consumatorilor individuali, locali, evitându-se astfel necesitatea rețelelor de alimentare cu energie.

Exceptând RES ale căror posibilități de utilizare și valorificare în energetica industrială sînt imediate, energia solară este sursa cea mai interesantă pentru aplicații în energetica de mică putere. Sursă reînnoibilă și nepoluantă, energia solară poate fi utilizată pentru producerea oricărei forme de energie utilă, fiind considerată, dintre sursele neconvenționale

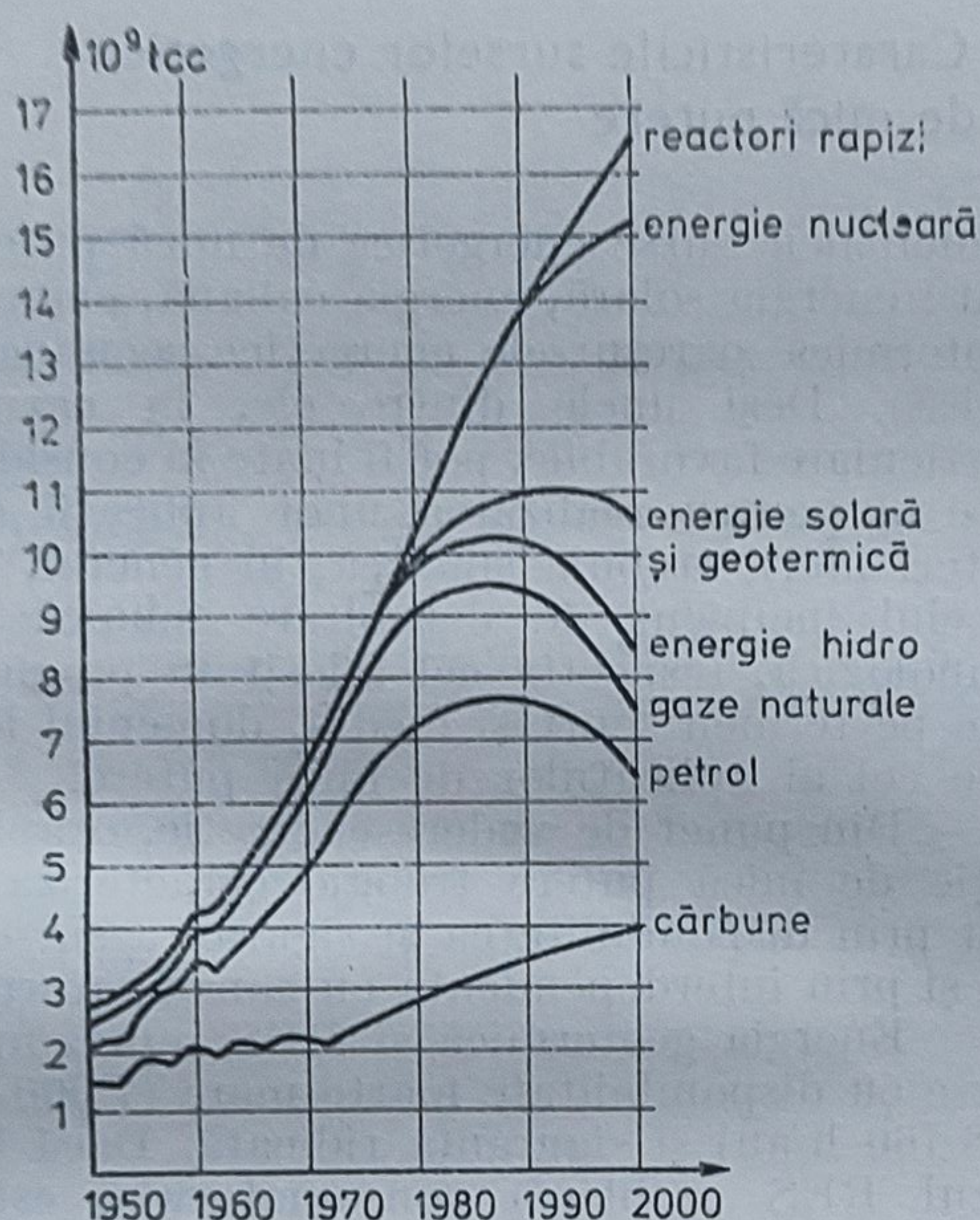


Fig. 1. — Evoluția consumului de energie primară pe purtători (prognoză).

de energie, ca avînd cea mai mare probabilitate de a interveni cu pondere — pînă la sfîrșitul secolului — în balanța consumului de energie primară (fig. 1).

## 2. Utilizarea energiei solare pentru producerea energiei electrice prin conversie termodinamică

În cadrul „Programului pentru gospodărirea și dezvoltarea resurselor energetice”, program coordonat de Consiliul Național pentru Știință și Tehnologie, Institutului de cercetări și modernizări energetice — ICEMENERG — îi revine sarcina cercetărilor în domeniul conversiei termodinamice a energiei solare. Scopul acestor cercetări este realizarea unei centrale solare electrice pilot experimental și efectuarea pe acest pilot a unui program complex de experimentări, care să permită obținerea



datelor tehnice și a celor economice pentru o comparare realistă a acestei soluții cu alte metode alternative de conversie.

Tipul de centrală a fost ales pe baza unei analize comparative, pe baza datelor existente, între două variante posibile : centrală cu captatoare plane și centrală cu captatoare cu concentrare. Factorii restrictivi pe baza cărora a fost făcută această analiză au fost împărțiți în trei categorii : (a) restricții tehnologice ; (b) restricții climatice specifice țării noastre și (c) restricții de aplicabilitate a soluțiilor rezultate din cercetare. Principalele concluzii ale acestei analize sînt prezentate în continuare.

a) Din punct de vedere tehnologic, soluția cu captatoare plane este mai accesibilă, deoarece :

— Captatoarele plane pot fi realizate din materiale uzuale, folosindu-se tehnologii cunoscute.

— Realizarea, exploatarea și întreținerea cîmpului de captatoare este mai simplă decît în cazul captatoarelor cu concentrare, la care stabilitatea și precizia de urmărire a traiectoriei solare, precum și păstrarea în timp a calității suprafeței reflectante sînt probleme relativ complicate, în special pentru suprafețe mari de captare.

— Sistemul de acumulare, necesar funcționării unei instalații solare, defavorizează sistemele cu concentrare datorită capacității mai mari de acumulare și, mai ales, temperaturii mai mari la care trebuie să se facă acumularea.

— Fiabilitatea sistemului cu captatoare plane este mai mare decît la cel cu concentrare, aceasta datorîndu-se montajului fix al captatoarelor și, în special, parametrilor scăzuți de lucru.

b) Condițiile climatice specifice zonei de amplasare au o influență hotărîtoare asupra eficienței funcționării centralelor solare. Plăsată în zona de insolație medie anuală de  $120 \text{ kcal/cm}^2 \cdot \text{an}$  ( $1\,400 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$ ), țara noastră are un regim mediu de însolare caracterizat prin circa 116 zile însorite pe an și un coeficient mediu anual al energiei directe raportat la energia totală de 0,493. În aceste condiții specifice, deși au randamente globale de conversie de  $4 \div 6$  ori mai mari decît centralele cu captatoare plane, centralele cu concentrare prezintă unele caracteristici de funcționare care le dezavantajează : conversia unei părți relativ mici din energia incidentă practic utilizabilă (circa 50 %) ; instalarea, pentru aceeași suprafață de teren ocupată, a unei puteri la vîrf de circa 2,5 ori mai mare decît pentru o centrală cu captatoare plane (considerînd ambele sisteme fără acumulare) ; o durată anuală de utilizare a puterii instalate de  $750 \div 800 \text{ h/an}$ , sensibil mai mică decît la sistemele cu captatoare plane ( $1\,150 \div 1\,200 \text{ h/an}$ ).

c) Posibilitățile de aplicare a soluțiilor rezultate din cercetare au influențat alegerea sistemului de conversie, în special prin existența, în cazul sistemelor cu captatoare plane, a unor domenii ale economiei naționale care permit o valorificare rapidă a echipamentelor componente specifice. Astfel, realizarea unei generații de captatoare solare plane cu caracteristici superioare de funcționare face posibilă aplicarea acestora pentru încălzire și producere de apă caldă, atît în sectorul domestic cît și în cel industrial. De asemenea, grupul turbogenerator (partea „clasică” a cen-



tralei) poate fi folosit pentru valorificarea unor alte surse de energie de mică putere (energie geotermală, RES-uri).

Considerentele expuse anterior explică alegerea, în primă fază a cercetărilor, a sistemului de conversie cu captatoare plane. Acest lucru nu semnifică însă eliminarea soluțiilor care folosesc sisteme de captare cu concentrare. De altfel, sistemele de concentrare cu focalizare liniară (concentratori cilindro-parabolici) sînt studiate de alte institute de cercetări din țară. De asemenea, sistemele de captare cu concentrare punctiformă (cu heliostate) vor fi studiate, în faza a doua a cercetărilor și în paralel cu sistemul de captatoare plane, pe platforma de cercetare a ICEMENERG de la București-Sud.

### 3. Centrala solară electrică cu captatoare plane

Rezultatele analizei prezentate pe scurt în capitolul anterior au dus la concluzia că, în prima etapă a cercetărilor, este preferabilă realizarea unei centrale solare cu captatoare plane. Avînd un caracter experimental, centrala, al cărei proiect de execuție a fost elaborat în colaborare cu Institutul de studii și proiectări energetice — ISPE — are o putere nominală de 30 kWe, nivel care a fost considerat caracteristic pentru aplicațiile viitoare.

Înainte de începerea proiectării, au fost efectuate studii și cercetări experimentale în următoarele domenii: (a) captatoare solare plane; (b) scheme termice și fluide de lucru; (c) echipament termomecanic și electric (schimbătoare de căldură, turbină, generator electric); (d) scheme de măsură, reglaj și control.

Lucrările efectuate au permis obținerea unor valori certe necesare calculului de proiectare. De asemenea, s-au stabilit principalele caracteristici de funcționare a echipamentelor componente și s-au optimizat parametrii de funcționare ai centralei. În continuare sînt prezentate rezultatele și concluziile acestor studii și cercetări.

#### 3.1 Captatoare solare plane

Captatoarele solare plane au o dublă acoperire transparentă, realizată din sticlă securizată de 4 mm grosime. Placa absorbantă este realizată din țevi cu aripioare din aluminiu extrudat, acoperite cu vopsea neagră neselectivă, circuitul hidraulic fiind de tip registru. Pentru a evita dificultățile de montare și transport, colectoarele au fost realizate modular. Fiecare modul are dimensiunile de  $2 \times 1$  m, suprafața activă fiind de circa  $1,8 \text{ m}^2$ , iar greutatea  $80 \text{ kg}$  ( $40 \text{ kg/m}^2$ ). Testările in-door, care au urmărit minimizarea pierderilor de căldură (conducție și convecție), au permis determinarea dimensiunilor geometrice optime ale captatorului. Rezultatele obținute în urma testărilor out-door au fost folosite pentru stabilirea principalelor caracteristici de funcționare ale captatoarelor, și anume: randament maxim de peste 50 % pentru  $t_{\text{intrare}}/t_{\text{ieșire}} = 70^\circ/80^\circ\text{C}$ , temperatura de echilibru radiativ (randament zero) de  $130^\circ\text{C}$ .



### 3.2. Schema termică și agenții de lucru

Alegerea schemei termice și a agenților de lucru a fost făcută pe baza performanțelor captatoarelor solare. În bucla de captare a energiei solare, agentul de lucru optim este apa, în special datorită căldurii specifice mari. Alegerea agentului termodinamic a fost făcută pe baza unei analize comparative a proprietăților chimice, fizice și termodinamice ale mai multor fluide: apa, freonii 11, 12, 113 și 114, bioxid de sulf, amoniac, clorură de metil. A rezultat că, în domeniul de temperaturi pînă la 100°C, freonul 11 este agentul termodinamic optim, datorită: (a) presiunilor mici de vaporizare; (b) valorii scăzute a volumului specific și a căderii de entalpie; (c) compatibilității chimice cu majoritatea metalelor și aliajelor; (d) randamentului bun al ciclului termodinamic.

Parametrii optimi de funcționare au fost obținuți prin optimizarea randamentului global, funcție de temperatura vaporilor de freon 11 la intrarea în turbină. Randamentul global ( $\eta_{\text{tot}}$ ) poate fi scris ca o funcție de randamentul captatoarelor ( $\eta_{\text{col}}$ ), randamentul ciclului ( $\eta_c$ ) și ponderea serviciilor interne ( $\varepsilon_{\text{si}}$ ),  $\eta_{\text{tot}} = K \cdot \eta_{\text{col}} \cdot \eta_c \cdot (1 - \varepsilon_{\text{si}})$ , unde  $K$  este o constantă care înglobează randamentele (constante) ale celorlalte componente ale instalației. Din calcule a rezultat că temperatura optimă a vaporilor de freon 11 la intrarea în turbină este de 70°C, temperatura apei la ieșirea din captatoare fiind de 80°C.

### 3.3. Echipament termomecanic și electric

Echipamentul termomecanic și electric specific centralei solare (schimbătoare de căldură, turbină de freon, generator electric) a fost realizat în concepție proprie și este în curs de testare, pentru obținerea caracteristicilor de funcționare. Celelalte echipamente sînt preluate din producția de serie.

Schimbătoarele de căldură (generator de vaporii, condensator) sînt de tip multitubular, orizontal, în construcție sudată. Deoarece fenomenele de schimb de căldură apă-freon 11 nu sînt încă bine cunoscute la temperaturi peste 30°C, schimbătoarele de căldură vor fi testate într-un domeniu mai larg de temperaturi. Turbina de freon este de tip axial, cu o singură treaptă, cu turația nominală de 3 000 rot/min. Generatorul electric este de tip sincron, cu o putere nominală de 35 kVA, putînd admite supraîncărcări pînă la 40 kVA.

### 3.4. Schema de măsură, reglaj și control

Datorită caracterului experimental al centralei, care face necesară obținerea de date complete pentru calculele de verificare a eficienței globale a instalației și a fiecărui component, sistemele de măsură, reglaj și control sînt mult mai dezvoltate decît ar fi necesar. Aceste sisteme vor fi simplificate pentru instalațiile de serie, astfel încît să rezulte o schemă simplă și sigură, care să facă intervenția umană cît mai puțin necesară.

Schema termomecanică a centralei solare este prezentată în figura 2. În schemă a fost introdusă o sursă adițională de căldură, care are ca scop crearea unei independențe față de energia solară, astfel încît să se poată efectua experimentări chiar și în perioadele nefavorabile din punct de



vedere al insolației. Centrala solară are următoarele caracteristici tehnice și constructive nominale: putere instalată:  $P_i = 30$  kWe; parametrii de funcționare în circuitul de colectoare-acumulare (temperaturi:  $t_{intrare}/$

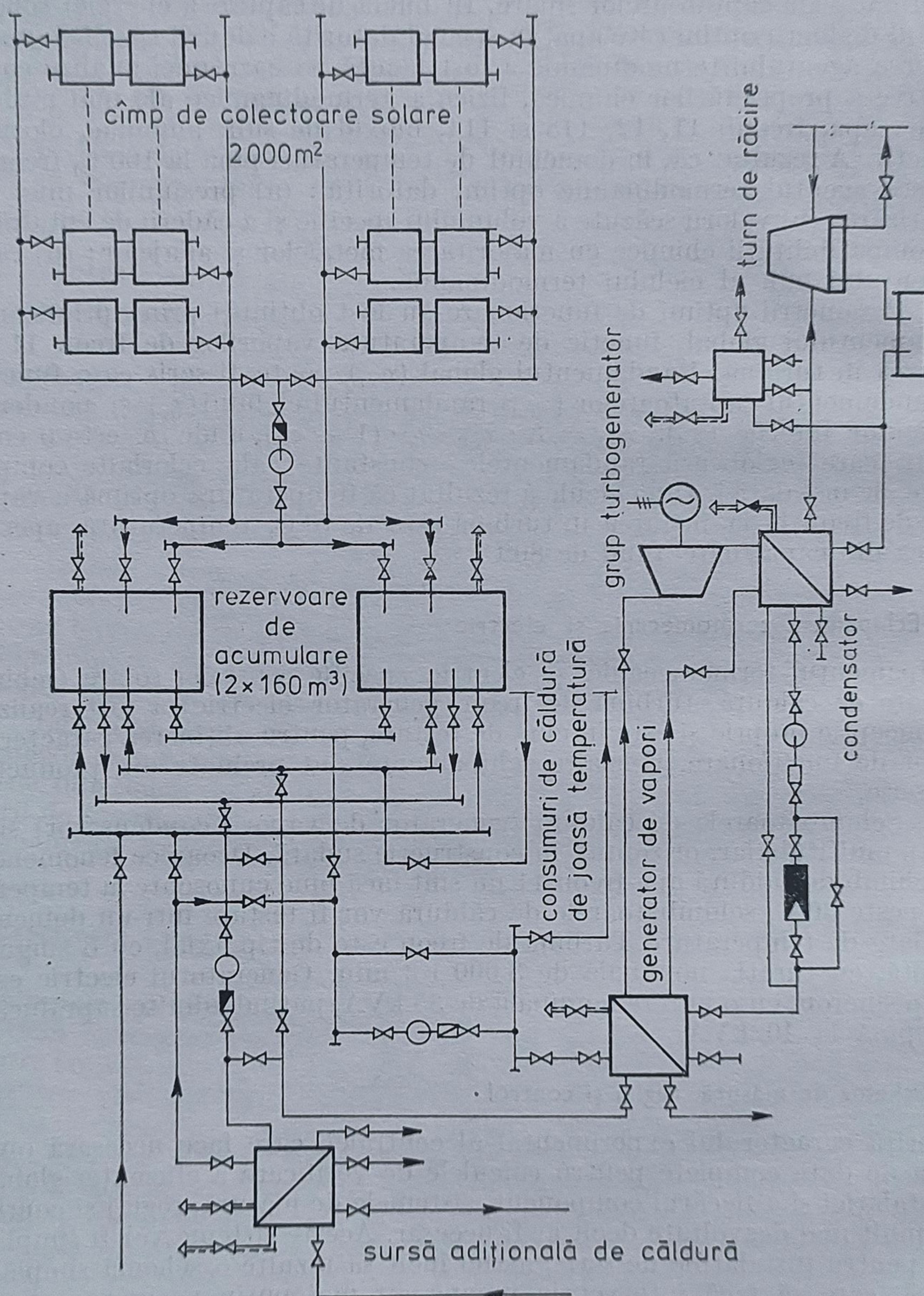


Fig. 2—Schema tehnologică a centralei solare electrice pilot experimental.

$t_{ieșire} = 73^{\circ}/80^{\circ}\text{C}$ , randament maxim:  $\eta_{\max} = 50\%$ , presiune maximă:  $p_{\max} = 3$  ata, agent de lucru: apă), parametrii de funcționare în circuitul termodinamic (temperatura de vaporizare:  $t_v = 70^{\circ}\text{C}$ , presiunea de vapo-



rizare:  $p_v = 4,2$  ata, temperatura de condensare:  $t_c = 30^\circ\text{C}$ , presiunea de condensare:  $p_c = 1,29$  ata, randamentul net al ciclului:  $\eta_{\text{net}} = 6,7\%$ ; agent de lucru: freon 11), cîmpul de captare a energiei solare este format din 1 000 module de captatoare plane, cu o suprafață activă de peste  $1\,800\text{ m}^2$ , față de suprafața efectivă de  $2000\text{ m}^2$  a captatoarelor; în condiții maxime de funcționare randamentul total este de circa  $4\%$ , valoarea medie anuală a eficienței globale de conversie fiind estimată la circa  $2,5\%$ .

Avînd în vedere aceste valori și considerînd insolația de calcul de  $800\text{ W/m}^2$ , rezultă că suprafața de captare este cu  $25\%$  mai mare decît cea necesară puterii unitare. Această mărire a suprafeței de captare, necesară pentru crearea rezervei de căldură, poate mări durata de funcționare a centralei de la  $2\,000$  h/an (fără acumulare), la  $2\,500$  h/an. În aceste condiții, pe baza datelor medii de insolație pentru țara noastră, s-a estimat că o astfel de centrală poate produce anual aproximativ  $90\,000\text{ kWh/an}$ , luînd în considerație și posibilitatea supraîncărcării grupului în perioadele favorabile. Considerînd consumul specific mediu în centralele clasice de  $350\text{ gcc/kWh}$ , această producție reprezintă o economie echivalentă brută de aproximativ  $30\text{ tcc/an}$  grup.

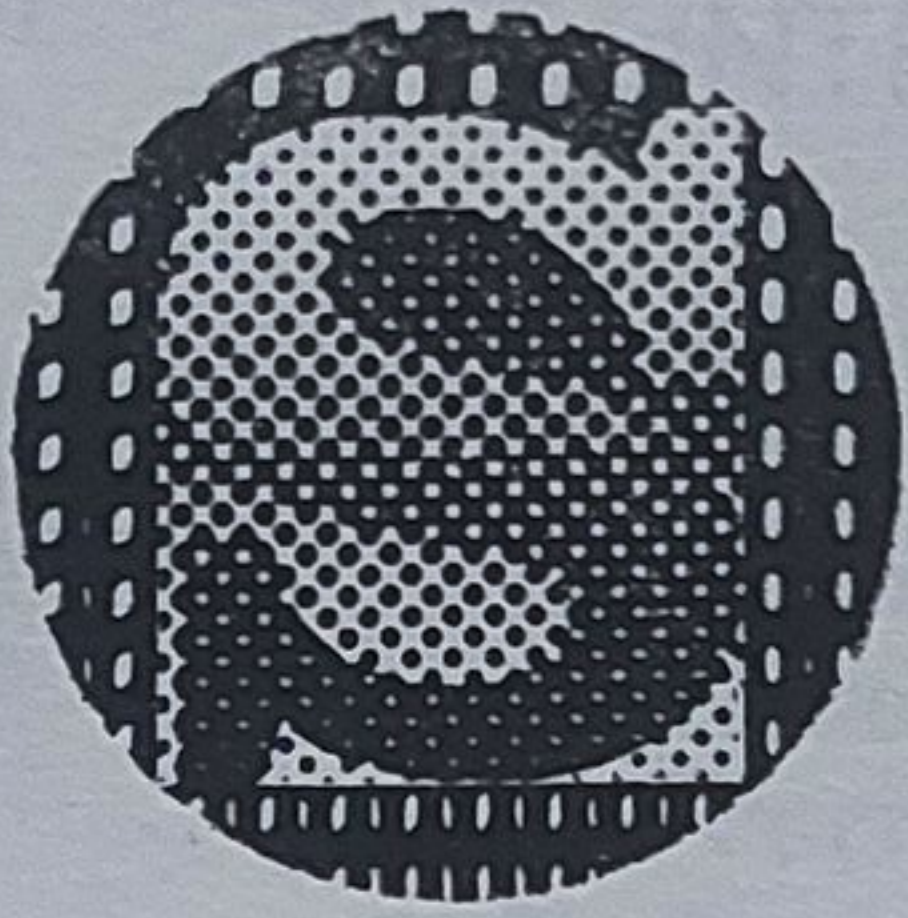
În privința datelor economice care să completeze această privire generală asupra eficienței de funcționare a centralei, ele nu pot avea decît o valoare relativă, avînd în vedere caracterul de prototip al instalației. Cu titlul informativ, pe baza prelucrării datelor obținute din cercetările anterioare și din proiectarea pilotului experimental, se poate afirma că, în condițiile unei producții de unicat a echipamentelor componente, investițiile specifice sînt de aproximativ 20 de ori mai mari decît în centralele actuale, costul specific al energiei electrice astfel produse fiind de 10 ori mai mare decît cel clasic.

O caracteristică importantă a acestui tip de instalație este însă faptul că echipamentele specifice (captatoare solare, grup turbogenerator) pot fi folosite și în alte aplicații de mică putere. Astfel, utilizarea captatoarelor solare plane pentru producere de apă caldă permite realizarea unor economii de circa  $70\div 75\text{ kgcc/m}^2\text{an}$ , iar utilizarea grupurilor turbogeneratoare cu freon pentru valorificarea unor surse de căldură de potențial scăzut (energie geotermică, RES-uri) economii de circa  $2,5\text{ tcc/kWi}\cdot\text{an}$ .

### Bibliografie

1. \* \* \* *International Solar Energy Congress and Exhibition*, iulie 1975, Los Angeles, California, S.U.A., vol. 1—5.
2. \* \* \* *AIAA/AAS Solar Energy for Earth Conference*, aprilie 1975, Los Angeles, California, S.U.A., vol. 1—5.
3. \* \* \* *International Conference on Solar Energy*, martie 1976, Toulouse, Franța.
4. \* \* \* *Sonnenenergie. Forschung aktuell*, 1976, Frankfurt/Main, R.F.G.
5. \* \* \* *Solar Energy, The Journal of Solar Energy Science and Technology*.
6. \* \* \* *Solar Energy Research in Australia*, report number 17 of the Australian Academy of Science, septembrie 1973.
7. \* \* \* *ERDA—48: A National Plan for Energy Research, Development and Demonstration: Creating Energy Choices for the Future*, iunie 1975, Washington, D.C., S.U.A., vol. 1—2.





# Tehnologii energetice solare



---

## TEHNOLOGII ENERGETICE SOLARE: REALIZĂRI ȘI PERSPECTIVE

---

Coletta DE SABATA\*)

### 1. INTRODUCERE

Soarele este izvorul și suportul materiei vii fiindcă din energia furnizată cu generozitate din reacțiile sale termionucleare, își trage seva, în primă și ultimă instanță, viața pe Terra; se relevă astfel cu pregnanță faptul că toate civilizațiile noastre au avut implicații energetice în dezvoltare și, cu atât mai mult, civilizația tehnologică actuală este puternic tributară capacității proprii de producere a energiei.

Specialiștii consideră treptele de dezvoltare a vieții dotată cu inteligență în trei etape de civilizație, criteriul de clasificare fiind tocmai nivelul de producere a energiei; ca element de comparație pentru acest nivel vom considera fluxul de energie ce ajunge pe planeta noastră de la Soare, și anume  $2 \cdot 10^{17}$  watt.

Pe pământ, nivelul de producere a energiei se va situa în curând în jurul unei puteri de  $10^{13}$  watt, creșterea cu câteva ordine de mărime ne va pune în situația de a fi luat în stăpânire complet planeta și astfel atingem nivelul-limită al primului tip de civilizație, cu o durată pentru realizare de ordinul miilor de ani.

Civilizația de tipul II implică luarea în stăpânire a întregului sistem planetar ceea ce va permite, în acord cu estimările actuale, producerea energiei la nivelul de  $10^{26}$  watt și o durată de dezvoltare tot de ordinul miilor de ani; producția de energie va depăși atunci cu mult ceea ce planeta primește de la Soare.

În fine, civilizația de tipul III presupune luarea în stăpânire a Galaxiei, atingerea unui nivel energetic de  $10^{35}$  watt și o durată de realizare de câteva milioane de ani, per-

Solar energy technologies:  
Results and prospects

The report supplies data about the results obtained using solar energy in the industrial field and some future developments.

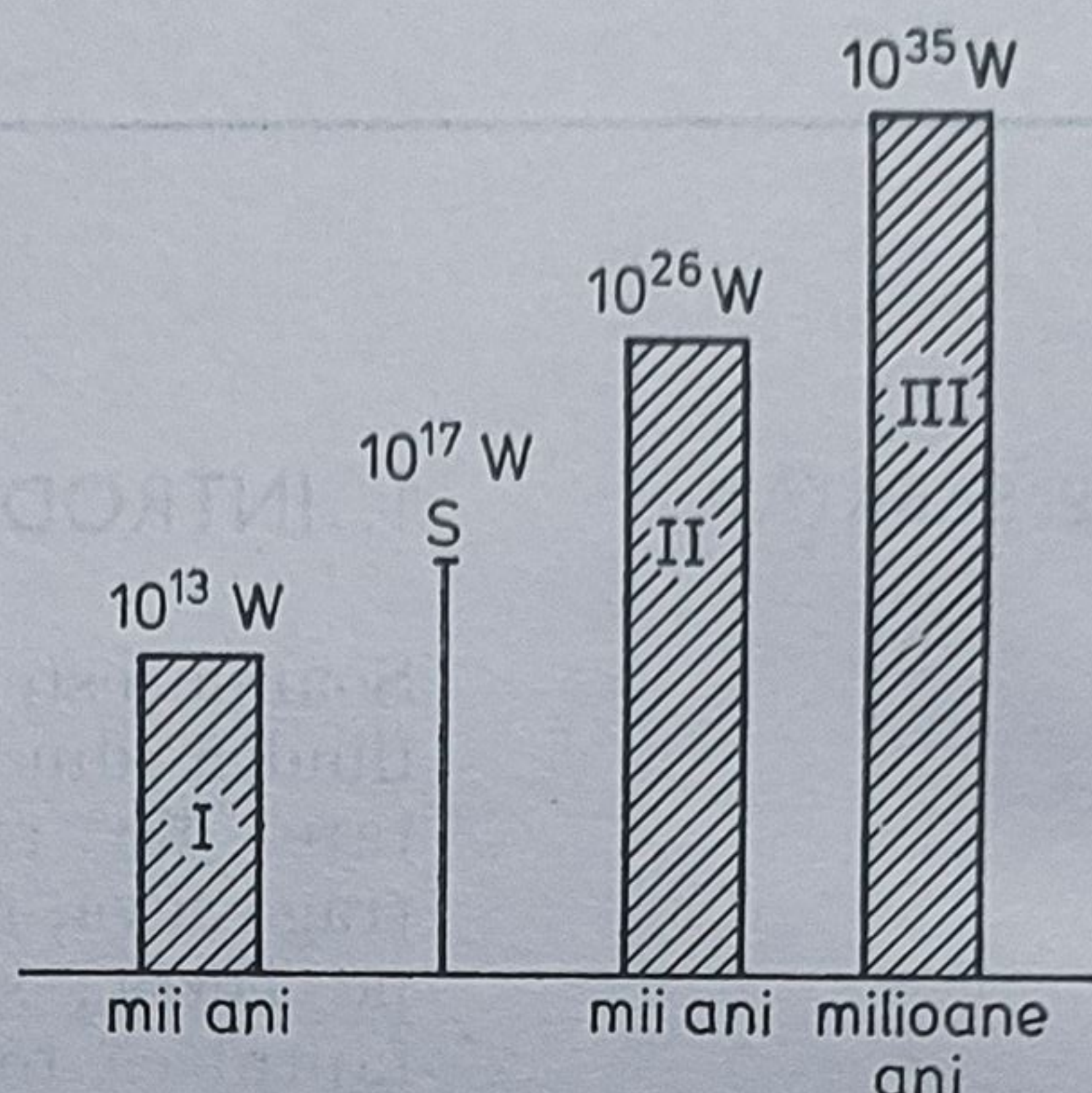
---

\*) Institutul politehnic „Traian Vuia”, Timișoara.



spectivă îndepărtată și lipsită de importanță pentru omenirea zilelor noastre, confruntată cu crize energetice la valori mult mai modeste.

Fig. 1. — Trepte de civilizație și energia implicată.



## 2. Strategii ale implementării unei noi psihologii prin raport cu implicațiile energetice ale epocii

Institutul politehnic „Traian Vuia” din Timișoara, ca unitate a învățămîntului tehnic superior, are prin natura sa, funcții duble :

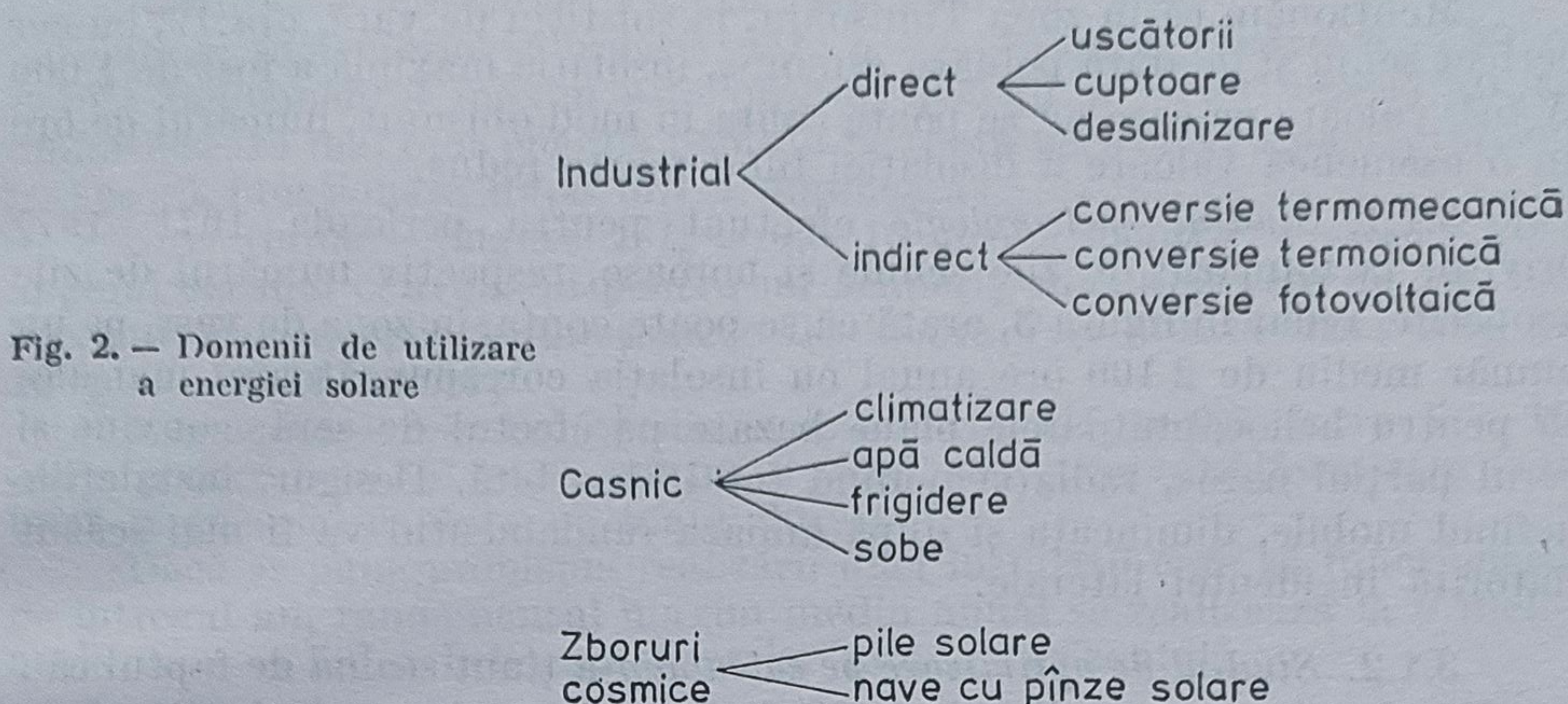
— Formarea de cadre ingineresti cu o deschidere științifică largă cu privire la problemele tehnologice ale viitorului, precum și obligația de a depune toate eforturile pentru lărgirea unghiului sub care inginerii actuali privesc modificările tehnologice din perspectiva imediată ; această funcție se realizează prin modernizarea continuă a cursurilor și crearea de laboratoare adecvate (de exemplu laboratorul de „Studiul captării și utilizării energiei solare” al Catedrei de fizică) și prin organizarea de cursuri intensive și conferințe, în sectoarele tehnice ale economiei, în vederea implementării în conștiințe a *noului*, impus de necesitate (ex. Curs intensiv privind captarea și utilizarea energiei solare, noiembrie 1978).

— Reorganizarea cercetării științifice, prin crearea de colective puternice, multidisciplinare, orientate spre studii de energetică solară, cu aplicații imediate la unitățile economice și de perspectivă privind conversia la parametri ridicați.

## 3. Aspecte abordate inițial în studiul captării și utilizării energiei solare

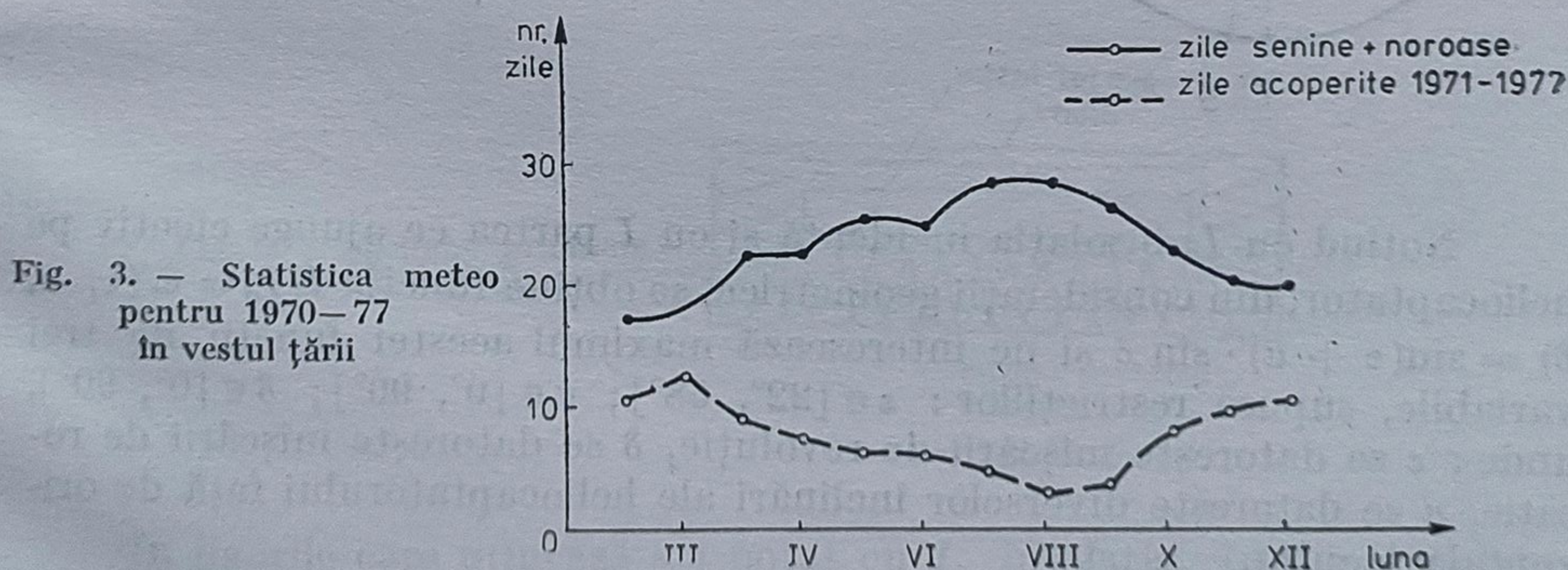
Din paleta largă a posibilităților de utilizare a energiei solare (fig. 2) ne-am preocupat, în acord cu tradiția institutului nostru, de aplicațiile industriale, atât la conversia directă cît și la cea indirectă, a acestei energii.





### 3.1. Termoconversia directă a energiei solare

Utilizarea căldurii sub formă de aer cald tehnologic, în instalații de uscare a produselor ceramice, a minereurilor, precum și în instalații de preîncălzire a bitumului din bataluri — anexe ale construcțiilor de șosele și autostrăzi —, a impus efectuarea următoarelor etape în cercetarea științifică: studiul meteorologic de durată, extins pe minimum cinci ani, pentru zona geografică implicată; studiu de optimizare pe calculatorul Felix C—256 a pozării heliocaptatoarelor plane, în funcție de perioada calendaristică de lucru a instalațiilor prevăzute să se construiască; studiu de laborator a proprietăților fizice ale materialelor autohtone (transparență, reflexie, absorbție) luate în considerație pentru realizarea de heliocaptatoare; studiul în laboratorul de energie solară a formelor constructive



de heliocaptatoare, a influenței efectului simplu sau multiplu de seră, a influenței poluării ș.a.; studiul în laboratorul de energie solară a puterilor captate și a randamentelor ce se obțin.



Menționăm că în zona Timișoara, la solstițiu de vară, ora 12, cu cer perfect senin și în afara poluării din oraș, insolația maximă a fost de  $1\,000\text{ W/m}^2$ , valoare pe care nu se poate conta în mod obișnuit, numărul de ore cu o asemenea valoare a insolației fiind foarte redus.

3.1.1. *Studiul meteorologic* efectuat pentru perioada 1971—1977 privitor la numărul de zile senine și noroase, respectiv numărul de zile acoperite, redat în figura 3, arată că se poate conta, în zona de vest, pe un număr mediu de 2 100 ore anual cu insolația corespunzătoare, mai ales că pentru heliocaptatoarele plane bazate pe efectul de seră, convine și cerul parțial noros, radiația nefiind total absorbită. Desigur, instalațiile nefiind mobile, dimineața și după amiaza randamentul va fi mai scăzut datorită incidenței laterale.

3.1.2. *Studiul de optimizare pe calculator* a ținut seama de faptul că : axa Pământului are o înclinație de  $23^\circ$  față de planul de revoluție, România este plasată pe paralela  $45^\circ$ , heliocaptatorul este înclinat cu un unghi  $u^\circ$  față de orizontala locului, mișcarea diurnă influențează randamentul de incidență printr-un unghi  $\delta$ .

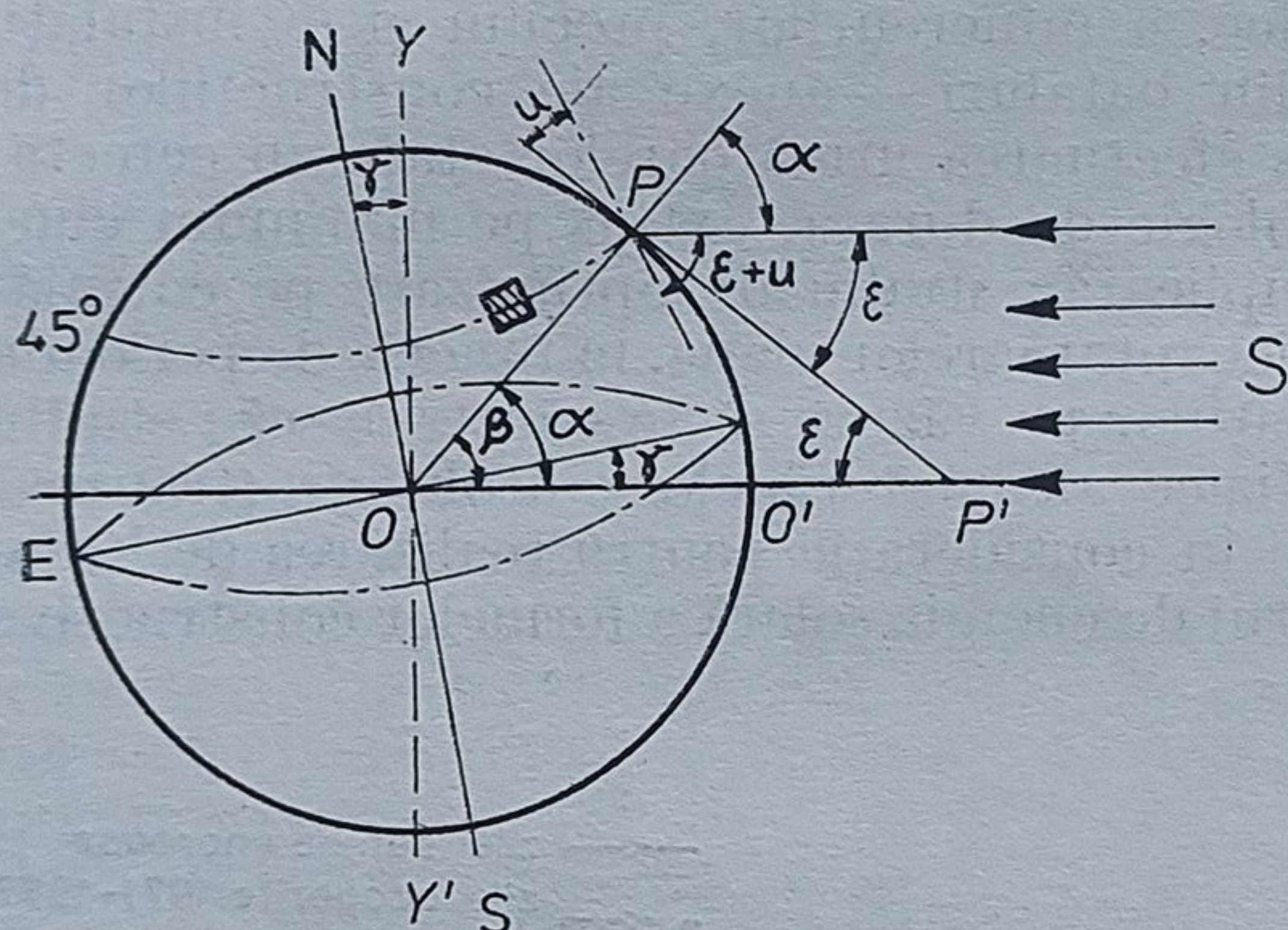


Fig. 4. — Notații unghiulare pe globul pământesc.

Notînd cu  $I_0$  insolația incidentă și cu  $I$  partea ce ajunge efectiv pe heliocaptator, din considerații geometrice, se obține funcția  $I/I_0 = \omega(\varepsilon, u, \delta) = \sin(\varepsilon + u) \cdot \sin \delta$  și ne interesează maximul acestei funcții de trei variabile, supuse restricțiilor :  $\varepsilon \in [22^\circ, 68^\circ]$ ;  $u \in [0^\circ, 90^\circ]$ ;  $\delta \in [0^\circ, 90^\circ]$ , unde :  $\varepsilon$  se datorește mișcării de revoluție,  $\delta$  se datorește mișcării de rotație,  $u$  se datorește diverselor înclinări ale heliocaptatorului față de orizontala locului.

Rularea a două programe a permis stabilirea unghiurilor de înclinație pentru ca  $I/I_0 > 0,9$  cel puțin 4 ore pe zi iar valorile pentru care  $I/I_0 < 0,5$  au fost excluse ; a fost determinat de asemenea numărul teoretic de ore de funcționare în condițiile precizate mai sus.



Rezultatele sînt sintetizate în forma de mai jos :

*iarna* (noiembrie—februarie)  $I/I_0 \geq 0,5$ , 6 ore/zi pentru  $u = 50^\circ \div 70^\circ$ ; randamentul maxim este obținut pentru  $u^\circ = 60^\circ$  dar la  $70^\circ$  se uniformizează mai bine energia captată pe toată perioada; heliocaptatorul începe să funcționeze după ora 9 dimineața;

*vara* (iunie — august)  $I/I_0 \geq 0,5$ , 10 ore/zi pentru  $u = 10^\circ \div 20^\circ$ ; unghiul cel mai convenabil pentru un acoperiș amenajat este de  $10^\circ$ , heliocaptatorul începe să funcționeze de la ora 7 și durata utilă este de 10 pînă la 11 ore/zi;

*primăvara — toamna* (aprilie — octombrie)  $I/I_0 \geq 0,5$  între 7 — 10 ore/zi pentru  $u = 35^\circ \div 45^\circ$ ; pentru  $u = 45^\circ$  se obține o uniformizare mai bună a energiei captate pe toată durata.

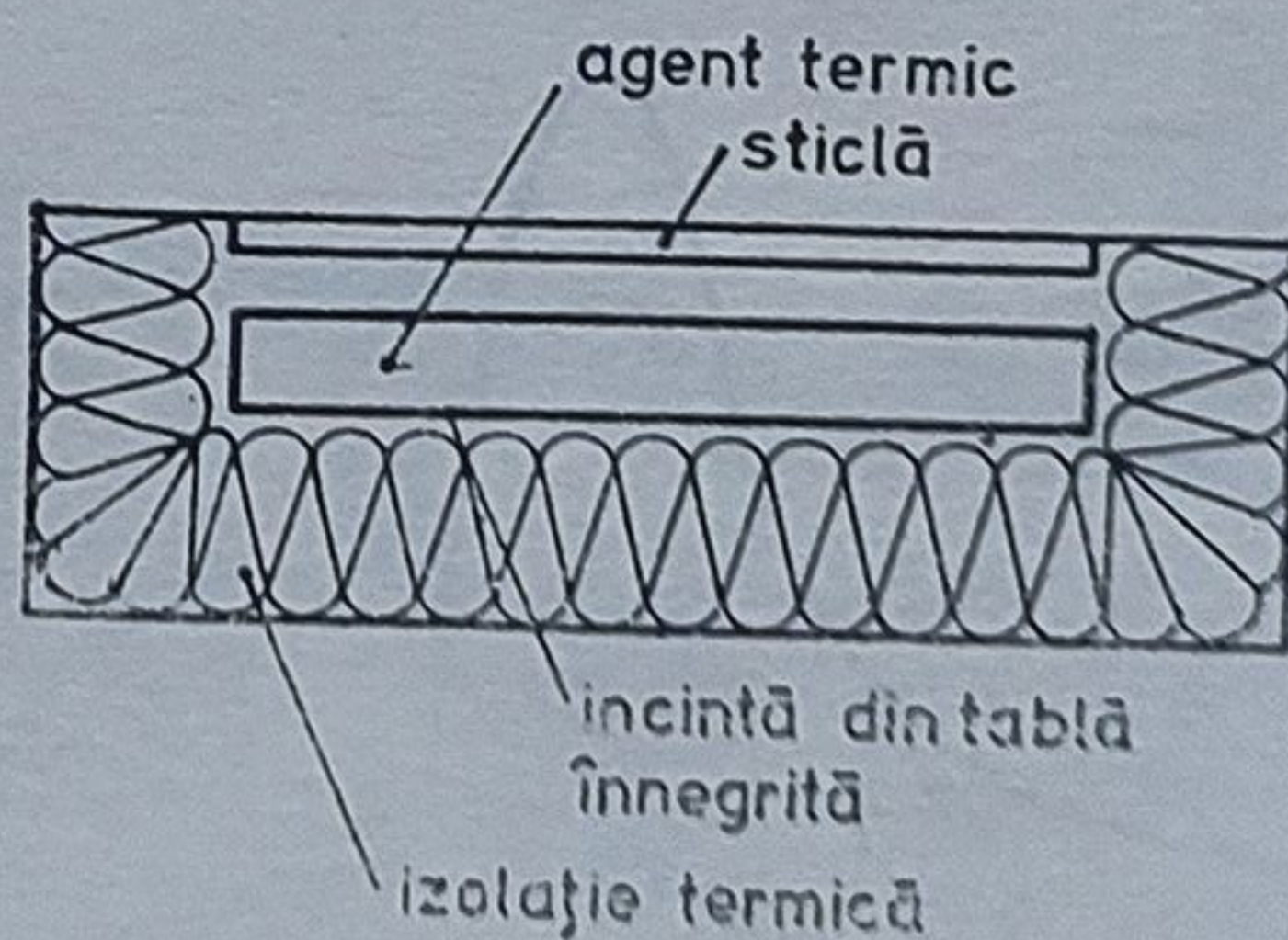
Dacă se pune problema realizării unei instalații care să funcționeze pe întregul an, randamentul maxim mediu anual se realizează la o înclinație de  $u = 50^\circ$  a heliocaptatoarelor față de orizontală.

3.1.3. *Studiul de laborator al materialelor* [autohtone transparente efectuat cu ajutorul spectrofotometrului asupra unei game foarte largi (de la materiale plastice, plexiglass, sticlă de geam, sticlă armată, poliester armat cu fibră de sticlă, policarbonat ș.a.) indică drept materialul cel mai convenabil, ținînd seama de preț, îmbătrînire, posibilitate de procurare, montare etc., sticla de geam de 4—5 mm grosime, eventual securizată a cărei transmitanță nu scade sub 75 % pe gama lungimilor de undă (650÷1 050) nm. Menționăm că sticla armată și pas-ul au sub 30 % transmitanță.

În ce privește materialele metalice absorbante, convine și tabla de OL și tabla de Al, ambele vopsite în negru mat, cu avantajele și dezavantajele respective de preț, greutate, durabilitate.

3.1.4. *Studiul în laboratorul de energie solară* a puterilor captate precum și a temperaturilor atinse în mediul de preluare a căldurii s-a făcut cu heliocaptatoare plane (secțiunea în fig. 5) în sistem duplex, ceea ce a permis ca în condiții meteo identice să se poată evidenția influența diferitelor elemente.

Fig. 5. — Secțiune printr-un heliocaptator plan.



În figurile care urmează s-a notat cu  $I_i$  insolația, ( $\mu A$  pe instrument) cu  $T_i$ ,  $T_m$  temperaturile din mediul conținut în insolator și  $T_a$  temperatura ambiantă.

În figura 6 se evidențiază că, în condițiile unei radiații de mică intensitate (luna martie) panta în origine a curbei de încălzire a mediului este



mică,  $5^\circ/\text{oră}$  — vara se obține o pantă de  $15^\circ\text{—}25^\circ/\text{oră}$  —, heliocaptatorul atinge  $70^\circ\text{C}$ , înnoirările de scurtă durată nu schimbă alura curbelor de încălzire dar cele persistente transformă heliocaptatorul în radiator față de mediu (după ora 14, fig. 6).

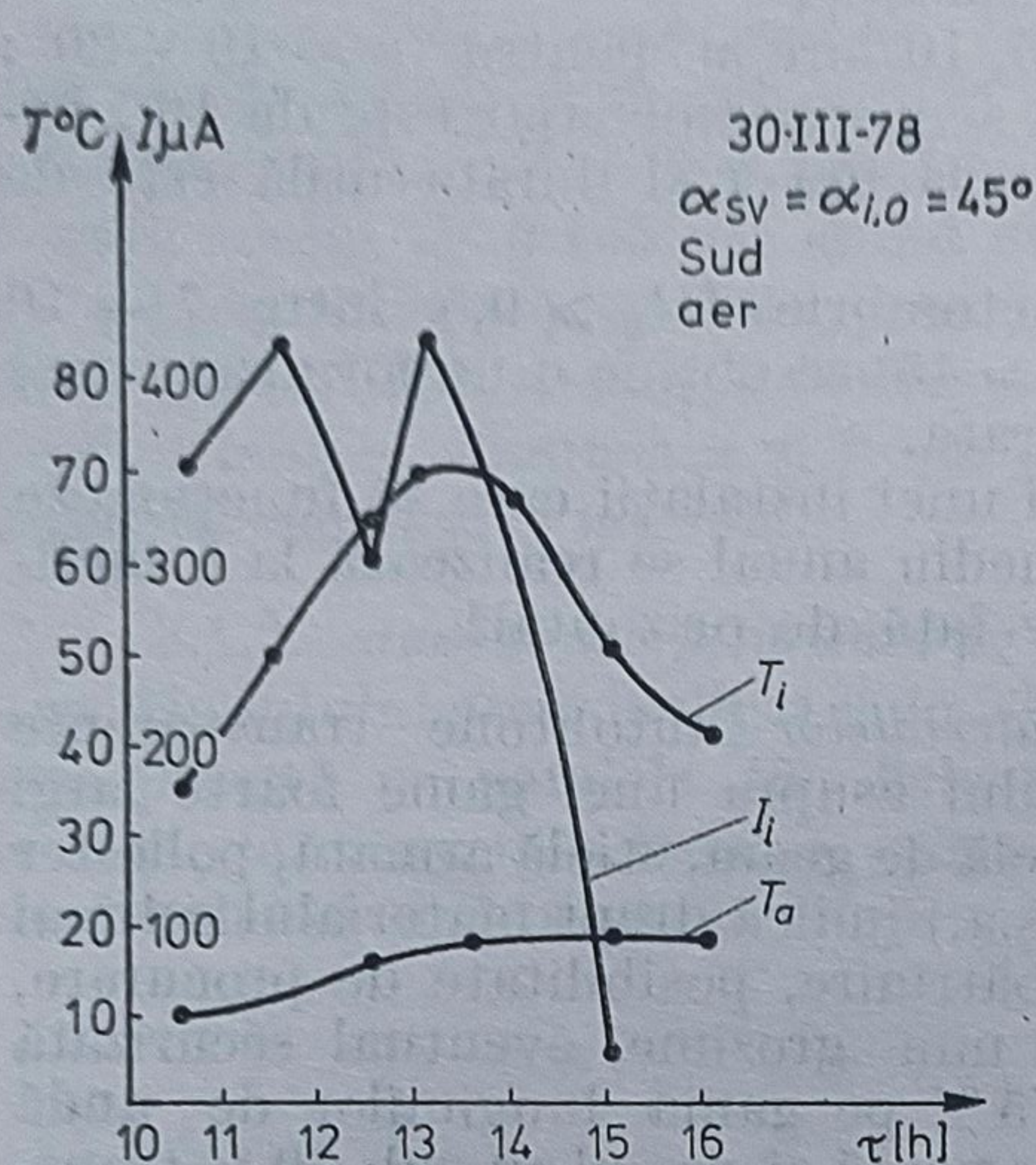


Fig. 6. — Rezultate experimentale cu un heliocaptator plan.

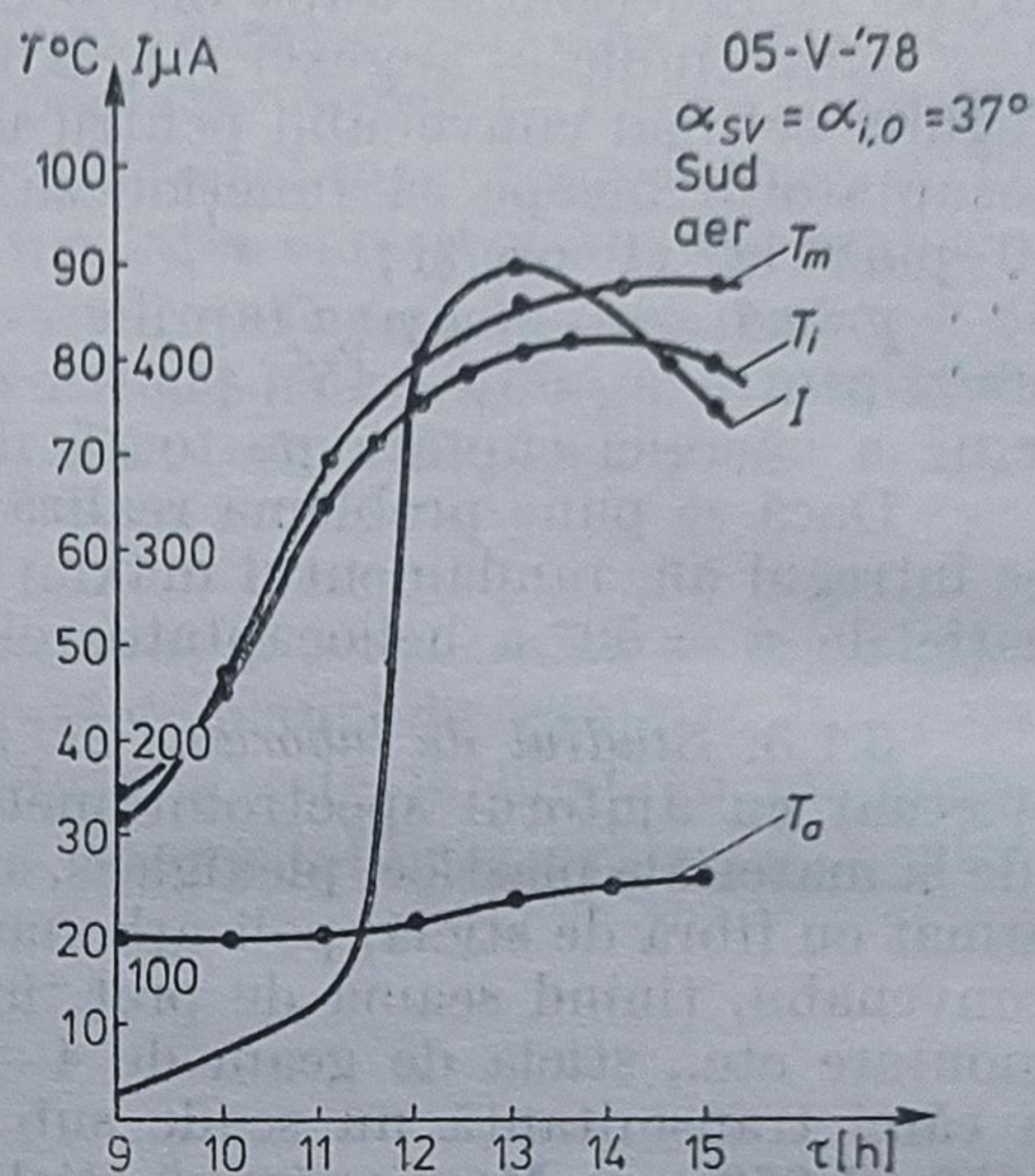


Fig. 7. — Rezultate experimentale cu un heliocaptator plan.

Cercetările au arătat că în condițiile meteo variabile ale primăverii și toamnei, este avantajos ca heliocaptatorul să fie protejat cu o folie de polietilenă (fig. 7), temperatura maximă atinsă fiind  $83^\circ\text{C}$  și răcirea se face mai încet.

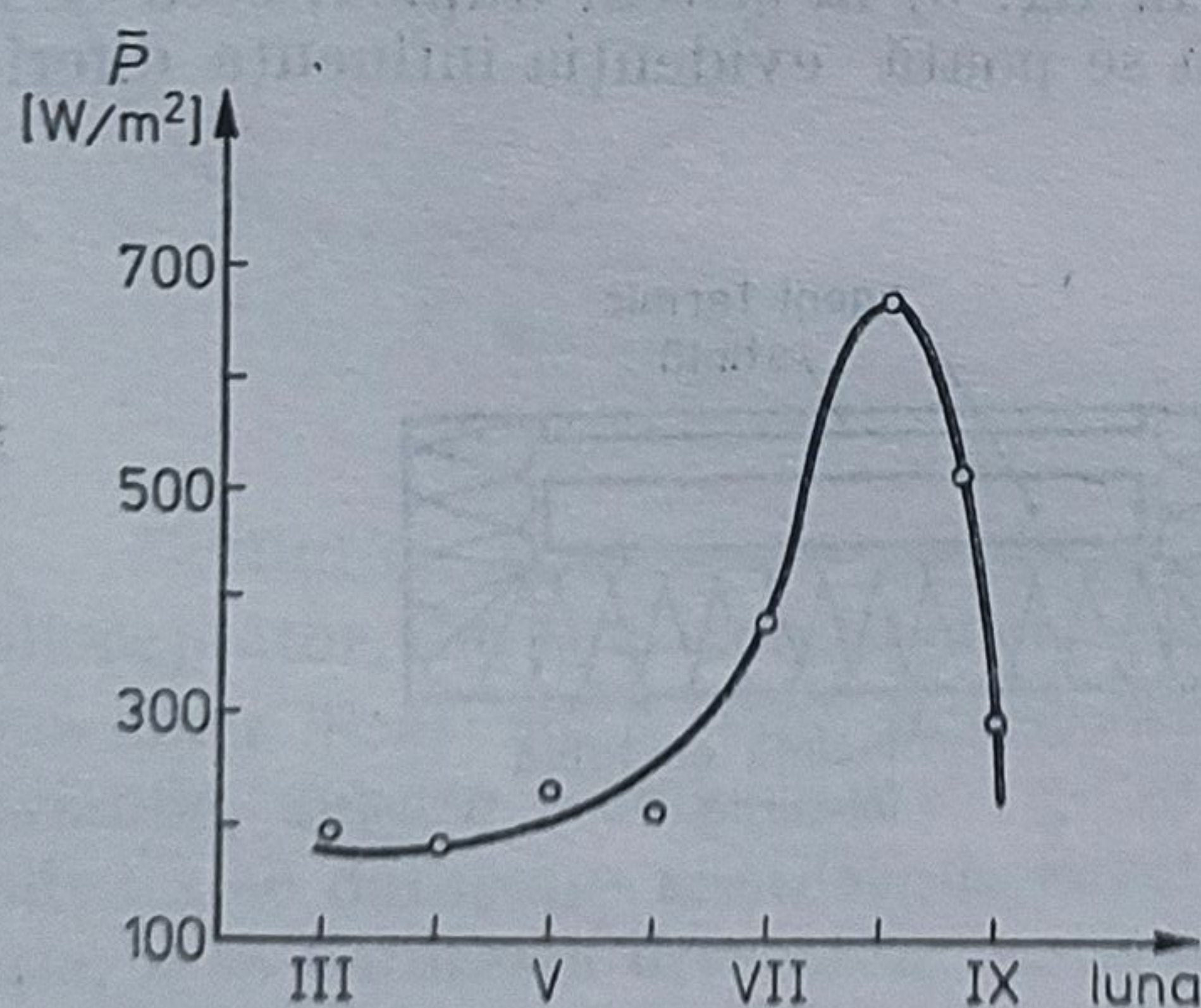


Fig. 8. — Puteri medii lunare obținute pe  $\text{m}^2$  de heliocaptator.

Folosirea unei table absorbante ondulată mărește viteza de încălzire ( $24^\circ\text{C}/\text{oră}$  față de  $20^\circ\text{C}/\text{oră}$  la martor) dar la temperaturi de peste  $80^\circ\text{C}$ , ondulația mărește suprafața de pierderi și, post-meridian, răcirea se face mai repede.



Puterile maxime obținute experimental au fost, în perioada din jurul solstițiului, de pînă la  $650 \text{ watt/m}^2$  folosind ca mediu de înmagazinare a căldurii, apă, și de  $550 \text{ watt/m}^2$  la heliocaptatoare cu circulație de aer.

În celelalte luni puterile scad destul de mult, cum se vede din curba prezentată în figura 8, și de asemenea, valoarea medie pe lună este mai mică.

#### 4. Aplicații industriale

În baza rezultatelor teoretice și experimentale, colectivul Catedrei de fizică de la Institutul politehnic „Traian Vuia” din Timișoara, a trecut la aplicații industriale ale energiei solare captate și transformate în căldură.

##### 4.1. Realizări la nivel de stație-pilot folosind heliocaptatoare plane

Colaborarea cu unitățile industriale din județul Timiș a permis realizarea a două instalații prevăzute cu heliocaptatoare plane folosind efectul de seră.

Hala prezentată în figura 9 este destinată uscării produselor ceramice prin circulația de aer încălzit cu ajutorul unei baterii ce formează acoperișul; hala este orientată cu axa principală pe direcția N—S; aerul circulă datorită a două ventilatoare cu putere de  $1,1 \text{ kW}$  și este colectat în două conducte principale iar apoi distribuit la partea inferioară a rasteleurilor pe care se află așezate produsele supuse procedului de uscare (fig. 9).

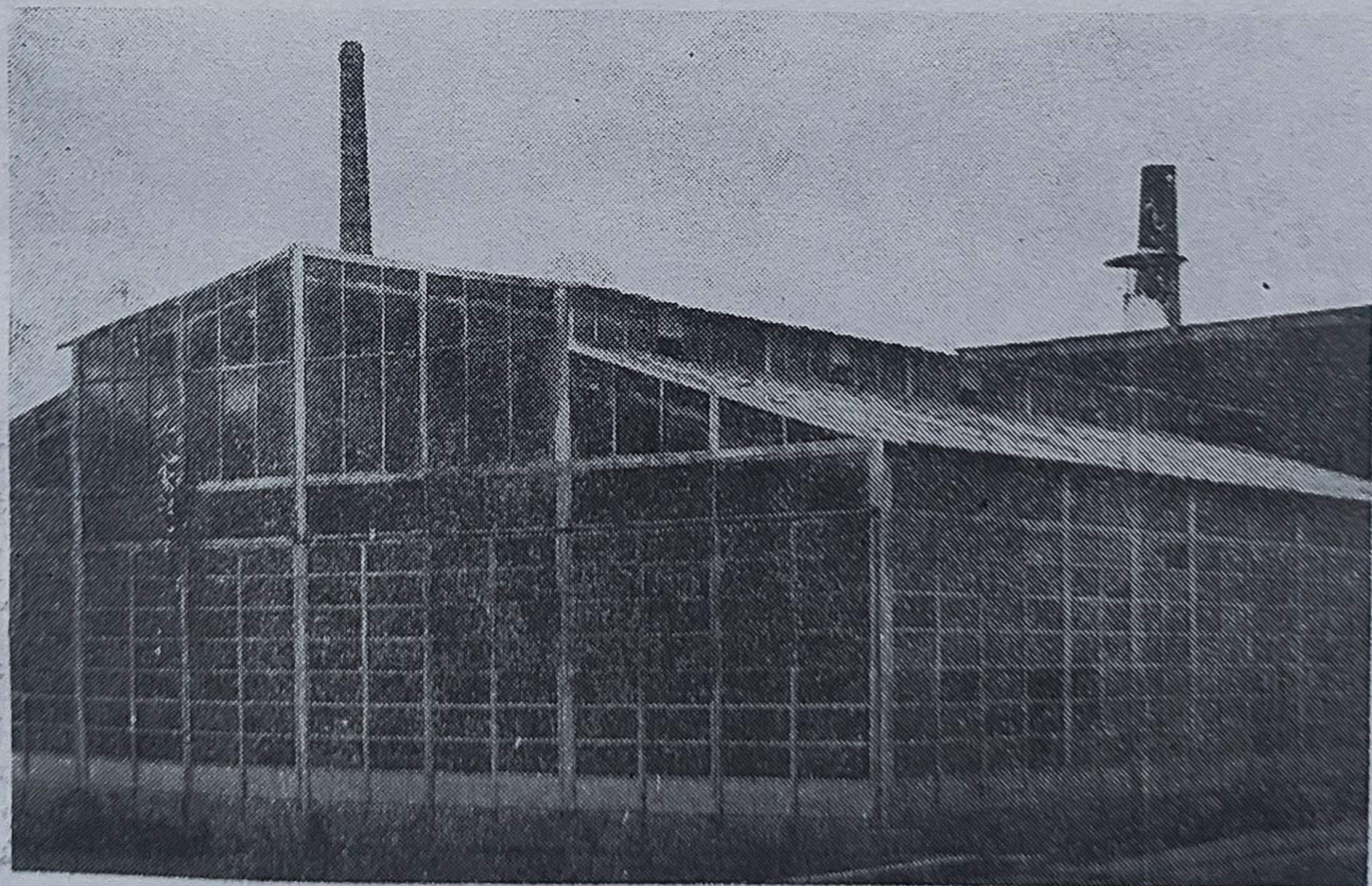


Fig. 9. — Stația-pilot de la I. P. C. Jimbolia (jud. Timiș).



Intrată în funcțiune în cursul verii 1977, stația a permis uscarea a peste 5 000 000 blocuri ceramice în intervalul 1977—1979; ciclul de uscare a variat între 7—10 zile, funcție de condițiile meteo.

A doua stație-pilot a fost destinată încălzirii bitumului necesar în instalațiile de preparare a mixturilor asfaltice. Ea comportă două părți :

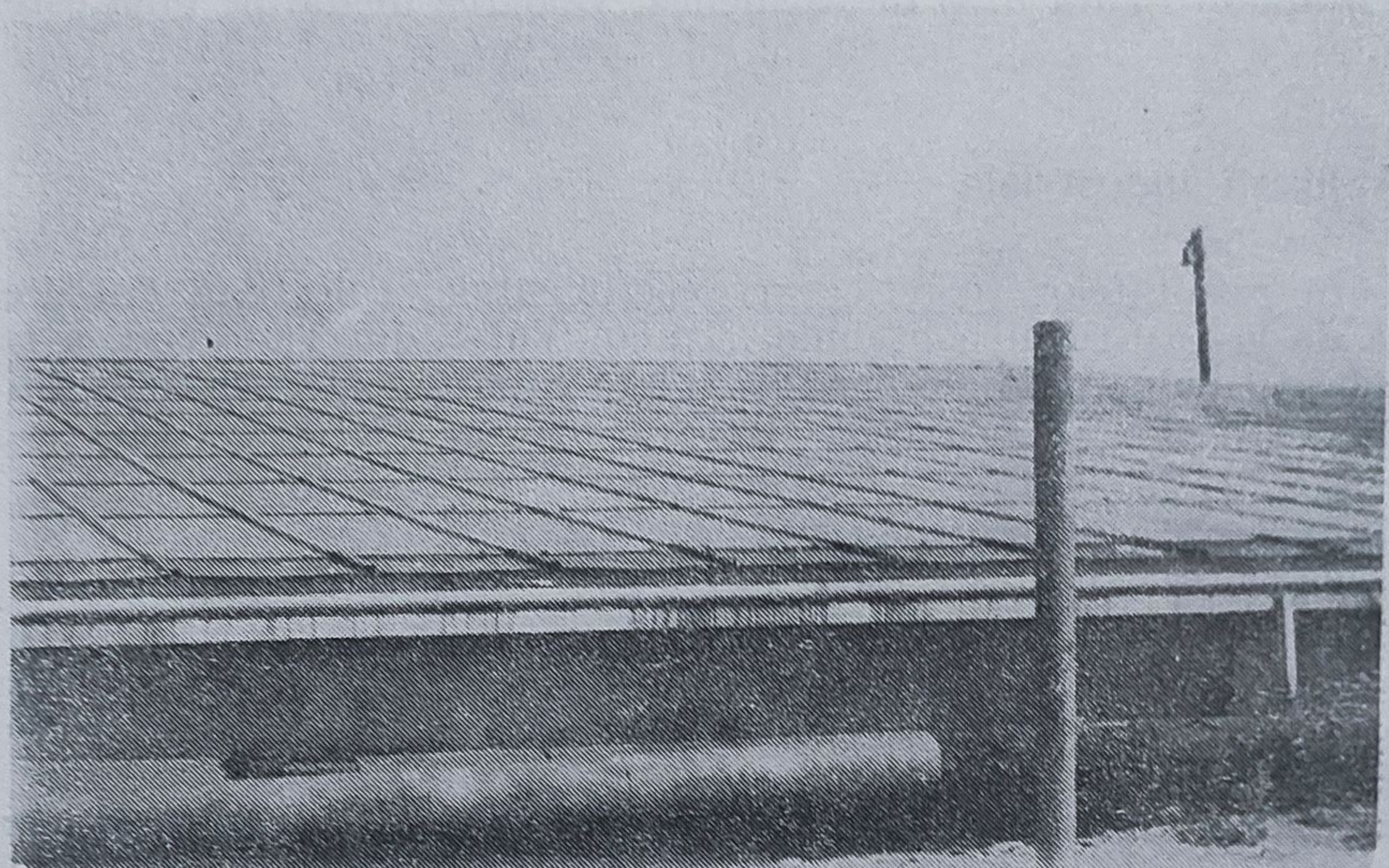


Fig. 10. — Acoperișul batalului de la stația-pilot LPX Săcălaz (jud Timiș).

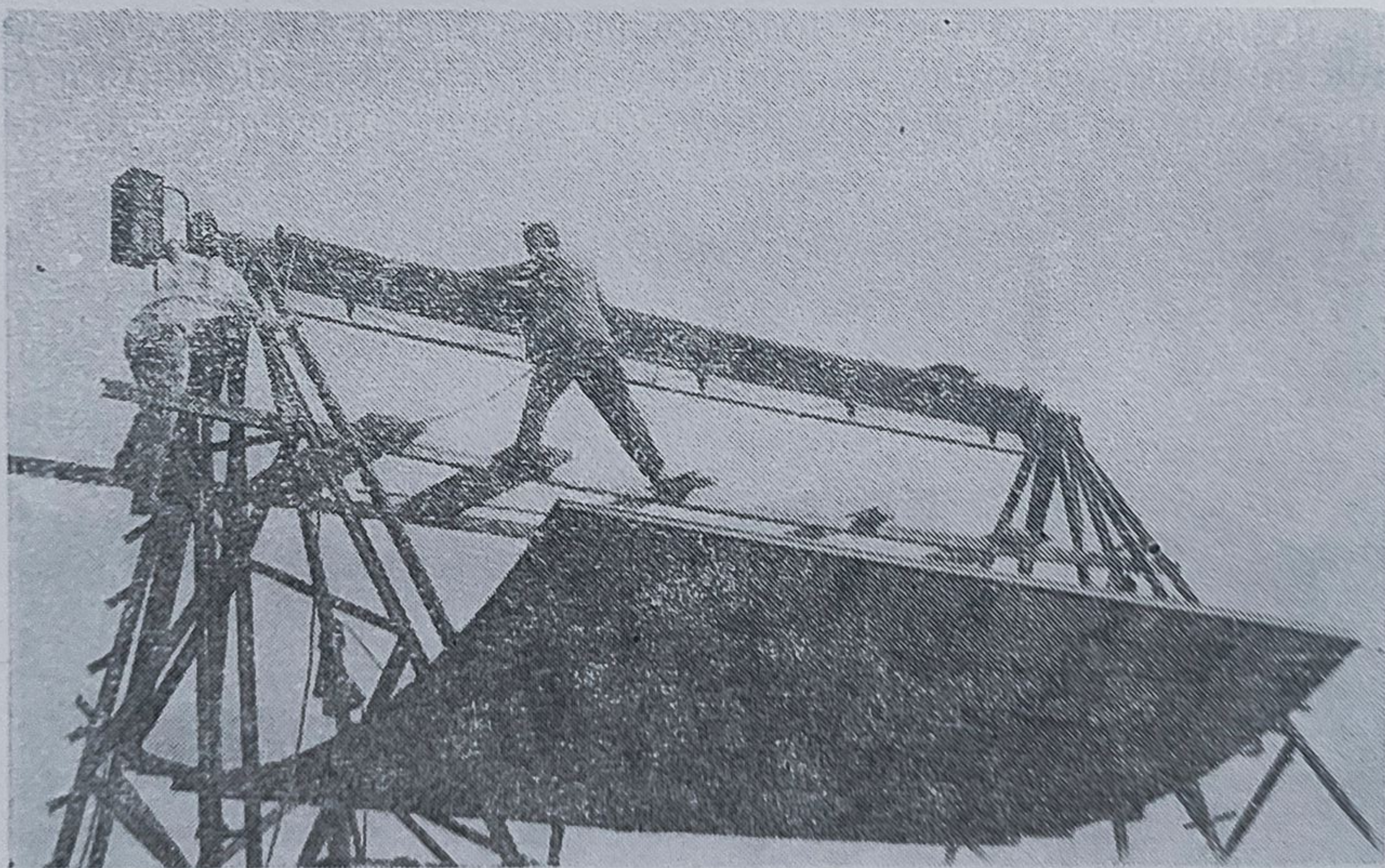


Fig. 11. — Montarea oglinzii cilindrice de 36 m<sup>2</sup> de la stația pilot LPX Săcălaz (jud. Timiș).

heliocaptatoarele plane în formă de acoperiș al batalului (fig. 10) ce conține bitumul și o oglindă cilindrică de concentrare a energiei solare (fig. 11).

Termoconversia directă a energiei solare prin efectul de seră, menține bitumul din batal la temperatura de 70°C, temperatură care îl fluidi-



zează suficient pentru a se putea scurge în bazinul de încălzire și care, în același timp nu-i alterează proprietățile fizico-chimice. Batalul, semi-îngropat, confecționat din pereți de beton, are părțile laterale foarte bine izolate termic, pentru a se reduce pierderile; de asemenea s-au luat măsuri speciale pentru ca scheletul metalic al acoperișului să nu fie radiator spre exterior în perioadele fără insolație. Acoperișul, în pantă, este curățat periodic prin spălare cu apă, în acest scop existând un sistem de țevi montate pe coama acoperișului.

Transmiterea căldurii spre interior se face din radiație și convecție directe, fapt care influențează oarecum negativ asupra gradientului de temperatură din interior, valorile cele mai înalte fiind la partea superioară, totuși construcția asigură întreaga căldură necesară menținerii celor 600 t de bitum în stare fluidă pe întreaga perioadă de lucru.

#### 4.2. Concentratoare de energie solară

Realizarea termoconversiei directe a energiei solare la temperaturi mai înalte a impus utilizarea concentratoarelor cu oglinzi metalice.

Soluția adoptată, în baza studiilor teoretice și a cercetărilor experimentale din laboratorul nostru, a condus la construcția unui concentrator cilindric, metalic, folosind ca element de reflexie tablă de oțel inoxidabil. Oglinda are raza de 6 m și lungimea de 6 m la o semideschidere  $\alpha^\circ = 30^\circ$  (fig. 11); în axa focală se află un set de șase tuburi metalice, negre, dispuse după o geometrie ce ține seama de aberația oglinzii, și protejate contra pierderilor prin izolație la partea superioară, și geam de sticlă, cu efect de seră, în rest.

Prin tuburi circulă agentul termic, ulei mineral, care după atingerea temperaturii impuse, este pompat în bazinul de încălzire a bitumului ce urmează a fi extras cu ajutorul unei pompe. Uleiul mineral circulă în sistem închis cedând căldura în bazin și reîncălzit apoi la trecerea prin zona focală a oglinzii de concentrare.

Instalația, terminată în toamna anului 1979 va funcționa începând cu acest an și din calcule se estimează că uleiul va atinge temperaturi de până la  $200^\circ\text{C}$ ; în felul acesta bitumul din bazin va putea fi fluidizat suficient, la o temperatură de  $(100-110)^\circ\text{C}$  pentru a fi extras prin pompare. Până acum, atât preîncălzirea cât și încălzirea bitumului se făcea folosind arzătoare cu motorină. Arzătoarele din batal nu au mai fost necesare în vara precedentă ceea ce a permis economisirea a circa 30 tcc și se estimează că intrarea în funcțiune a instalației cu oglinda cilindrică va permite ridicarea economiei până la  $(50-60)$  tcc/an.

În ce privește aportul energetic anual, el este de circa  $50 \text{ kg cc/m}^2$  de heliocaptator valoare care în condițiile de exploatare poate fi limită superioară sau mult depășită, în funcție de condițiile meteo, poluare, întreținere corectă și materialele utilizate în construcția lor.

#### 4.3. Realizarea de elemente modulate pentru heliocaptatoarele plane.

Cercetările teoretice și cele efectuate în condiții naturale, au permis elaborarea unui prototip de heliocaptator plan, modulat, destinat obținerii de aer cald ( $70^\circ\text{C}$ ) necesar în diversele procese tehnologice.



Acest sistem, prin asamblare, poate atinge lungimea necesară încălzirii aerului, acomodată condițiilor existente și, de asemenea, unghiul de pozare se poate alege după necesitățile beneficiarului. Prototipul de module (de continuitate și de întoarcere) se află construit la Secția de microproducție a Institutului politehnic „Traian Vuia” Timișoara.

## 5 Cercetări de perspectivă

Se consideră astăzi că viitorul, ceva mai îndepărtat, în domeniul utilizării energiei solare privește conversia ei directă în energie electrică, fără a se neglija totuși termoconversia pentru obținerea de căldură și de energie mecanică.

Această concepție este justificată din două considerente — simplitatea în utilizare a energiei electrice și dificultatea de stocare a căldurii — cu observația foarte importantă că mai există multe probleme de rezolvat și la conversia energiei solare direct în energie electrică; faptul că se obține curent continuu, când majoritatea utilizărilor sînt în curent alternativ și, din nou, problema acumulării și stocării.

În cadrul colectivului nostru ne-am propus să abordăm atît problema conversiei termoionice cît și cea a conversiei fotovoltaice, atît ca studiu

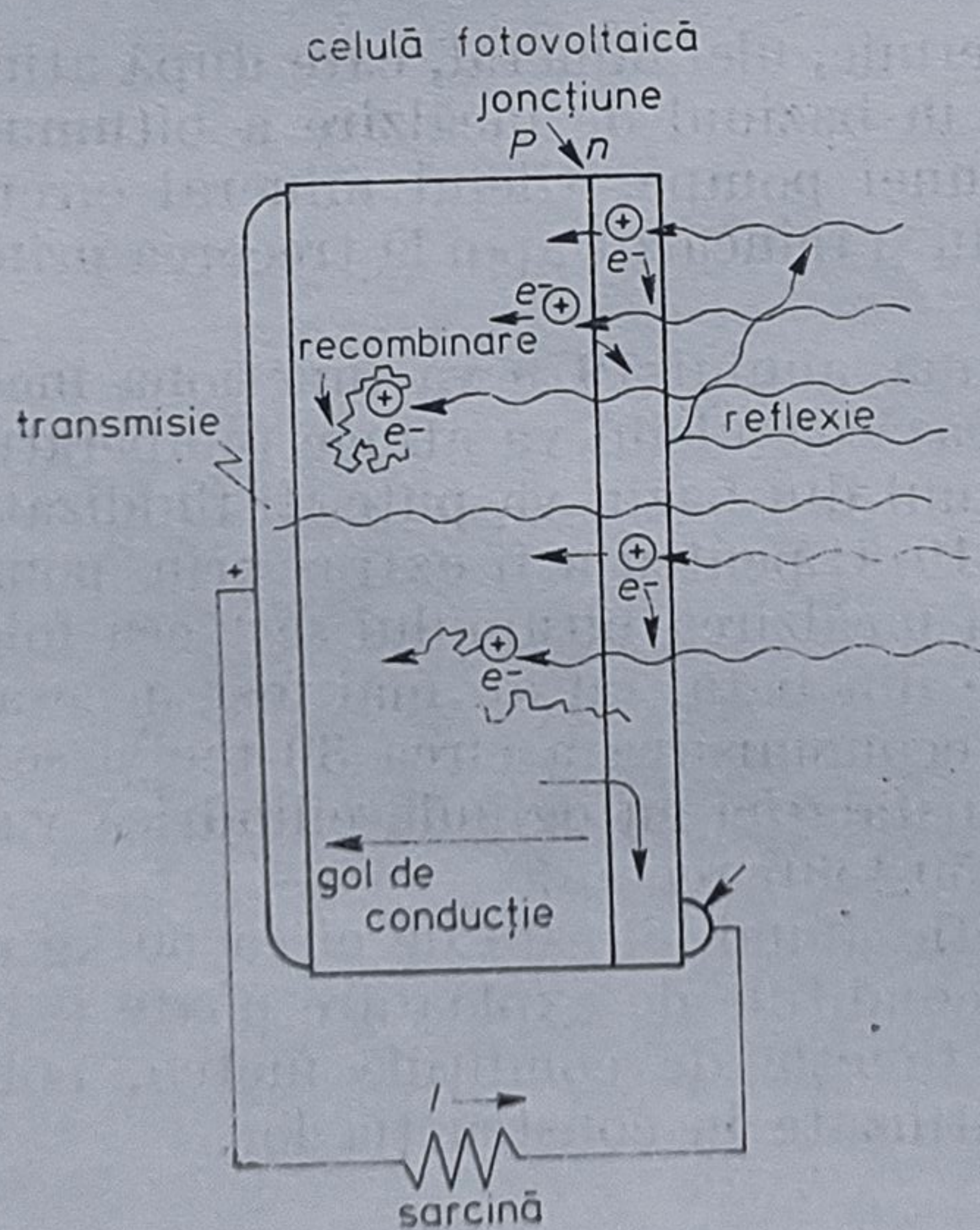


Fig. 12. — Celulă fotovoltaică — mecanisme fizice la interacția cu lumina.

al bazelor fizice ale fenomenelor care se produc în materialele utilizate cît și ca aspecte tehnologice ale producerii ieftine a unor materiale cu proprietăți adecvate.



Fără a intra în detaliu asupra cercetărilor întreprinse în acest domeniu, menționăm că, pornind de la structura tipică a unei celule fotovoltaice (fig. 12) care arată intuitiv procesele de pierderi care reduc eficiența transformării energiei solare în energie electrică, s-au studiat caracteristicile unor celule, influența temperaturii asupra eficienței diverselor tipuri de celule fotovoltaice, studiul parametrilor interni și ai comportării sub aspect energetic al unor celule fotovoltaice.

În încheiere dorim să subliniem faptul că toate cercetările pe care le efectuăm reprezintă contribuția noastră directă la realizarea programului energetic național, care are ca scop furnizarea unei cantități suficiente de energie pentru necesitățile dezvoltării armonioase a economiei țării noastre și asigurarea independenței ei energetice în viitorul deceniu.



## CONVERSIA ENERGIEI SOLARE ÎN ENERGIE MECANICĂ PRIN CICLU TERMODINAMIC

Alexandru DĂNESCU\*)  
Stoian PETRESCU\*)

The conversion of solar energy into mechanical energy using thermodynamical cycle

There are presented several schemes and types of systems of conversion of solar energy into mechanical energy using thermodynamical cycle. The results of theoretical and experimental researches of Technical Thermodynamics Division at Polytechnical Institute of Bucharest, regarding the realization and testing of a solar boiler with cylindro parabolic concentrator, in a modular solution of  $100 \text{ m}^2$ , for producing steam at  $150 + 200^\circ\text{C}$  ( $5 + 16 \text{ bar}$ ) for technological or energetic purposes, are presented. Techno-economical estimates are also made, comparatively to classical power plants.

\*) Institutul politehnic București.

Pentru viitorul apropiat (perioada 1981—1985—1990), se prevede realizarea unor centrale termoelectrice funcționând după ciclul termodinamic cunoscut, în care energia solară să fie utilizată pentru încălzirea și vaporizarea fluidului de lucru, înlocuind astfel combustibili clasici.

La 19 noiembrie 1976, pentru prima dată în istoria energiei, o centrală electrică solară a debitat energie electrică pe o rețea națională de distribuție; este vorba de instalația de la Odeillo (în munții Pirinei — Franța), realizată prin utilizarea câmpului de heliostate și a concentratorului parabolic ale cuptorului solar instalat cu mai mulți ani în urmă în această localitate. Centrala de la Odeillo dezvoltă o putere de 65 kW și are evident un caracter experimental (fig. 1).

În prezent, se elaborează studii și cercetări în numeroase țări și există de asemenea realizări parțiale ale unor programe care prevăd construirea unor instalații funcționând după ciclul termodinamic clasic, pentru conversia energiei solare în energie mecanică (și apoi în energie electrică).

Aceste centrale termo-electrice solare, care utilizează energia solară în locul combustibililor obișnuiți, sînt construite în general conform schemei din figura 2.

Avînd în vedere caracteristicile de neuniformitate a radiației solare în cursul unei zile, este necesar ca instalațiile solare să fie prevăzute cu mijloace de stocare a energiei termice, care să permită funcționarea instalației — o anumită perioadă — în condiții de cer acoperit.

În cazul centralelor electrice solare, stocarea energiei termice se face cu mijloace



diferite în funcție de regimul de temperaturi ale agentului primar, respectiv în funcție de tipul captatoarelor :

— în instalațiile cu captatoare plane, care folosesc apa ca agent primar și ca fluid de lucru freonul, acumularea energiei termice se poate face în apă la temperaturi de  $60 \dots 80^{\circ}\text{C}$ ;

Fig. 1. — Schema captatorului solar de la Odeillo, folosit pentru centrala solară de 65 kW-electrici.

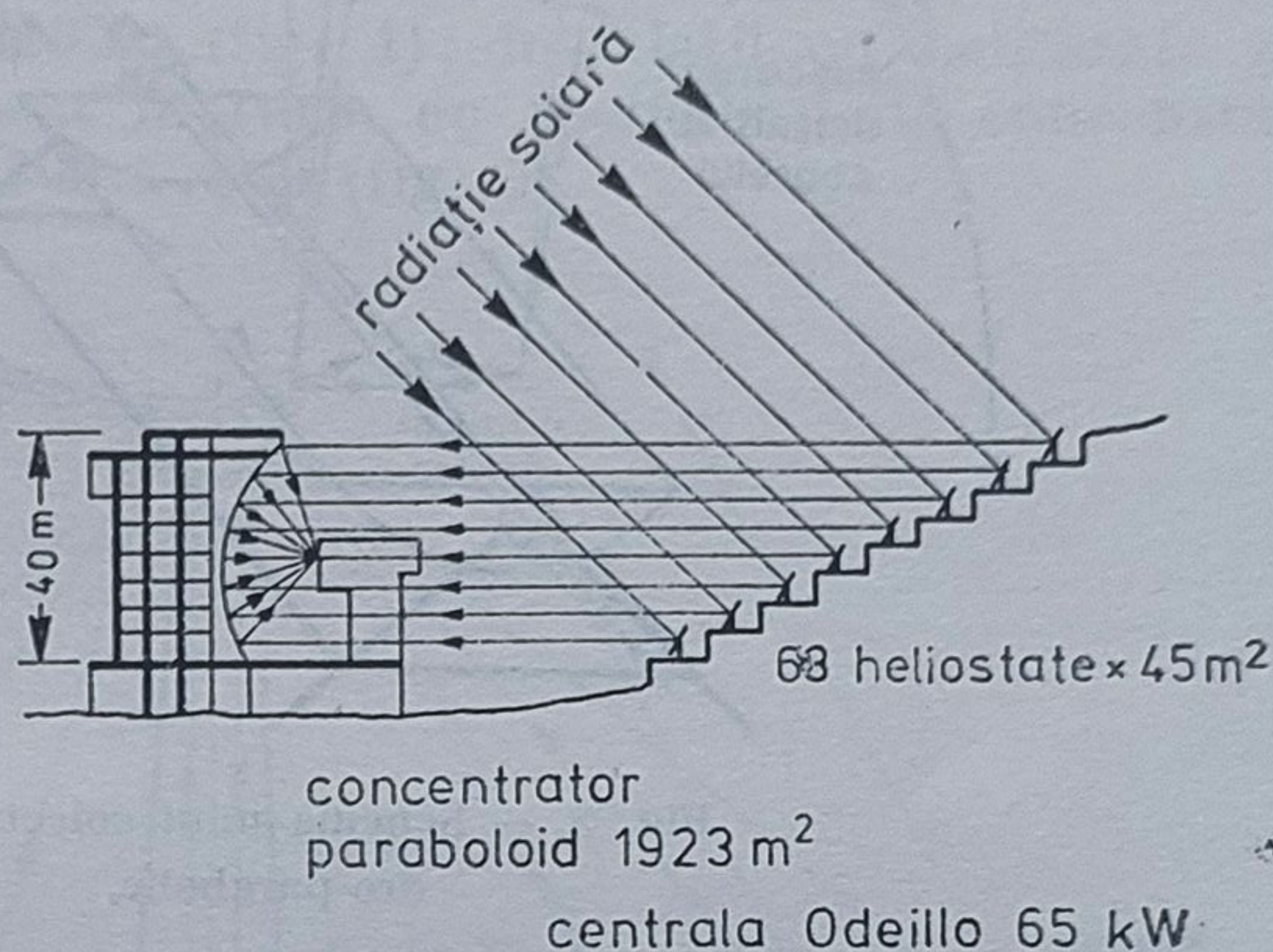
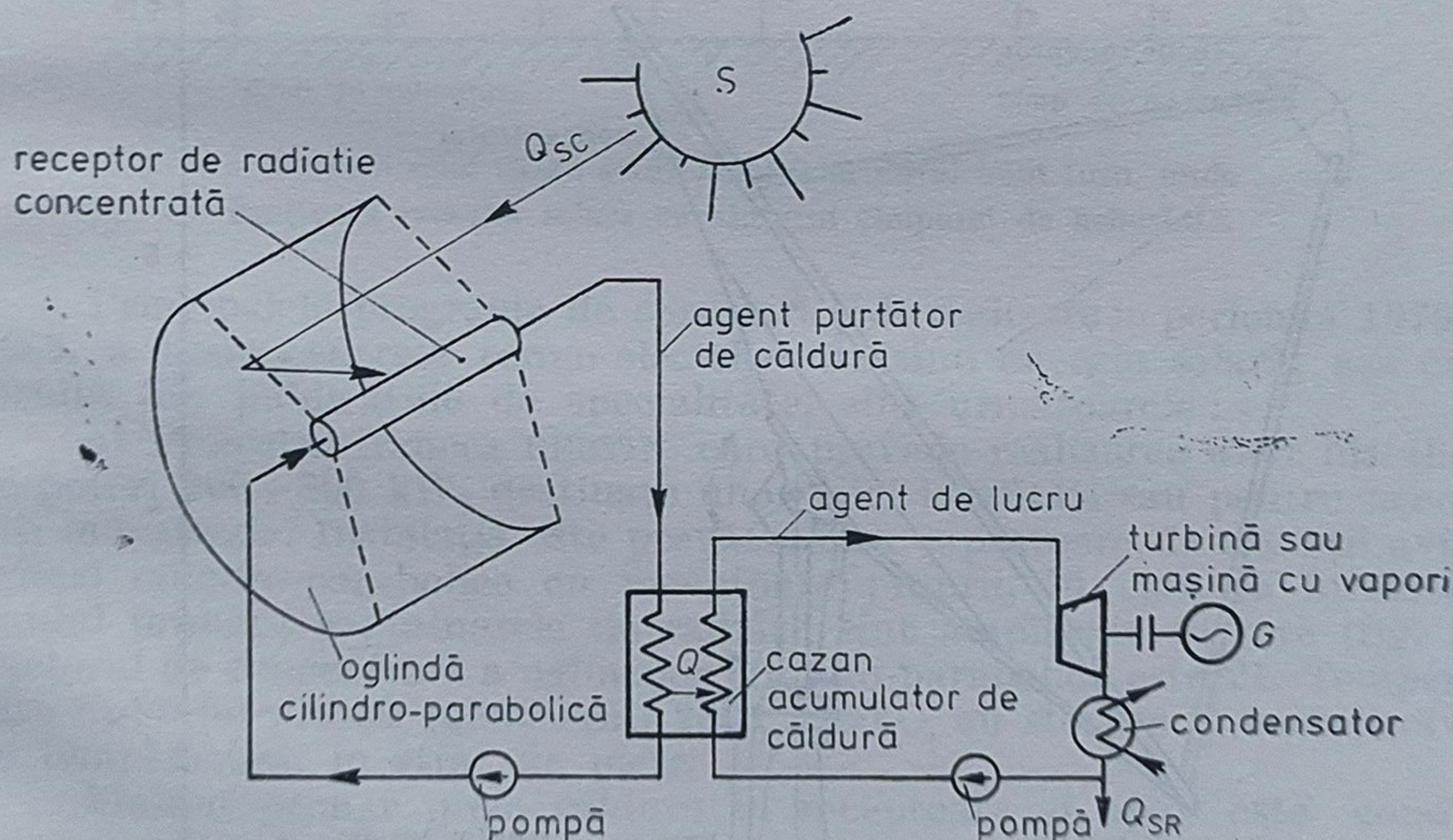


Fig. 2. — Schema unei instalații termoelectrice solare.



— în instalațiile prevăzute cu captatoare cu concentrarea radiației solare, acumularea energiei termice se face în săruri topite (cel mai adesea), sau cu ajutorul unor fluide speciale de natură organică (cunoscute sub denumiri comerciale, ca de exemplu „giloterm” în Franța, „dowtherm” în S.U.A.).

În funcție de tipul receptorului (captatorului) de radiație solară adoptat, instalațiile se pot clasifica astfel : instalații cu captatoare plane,



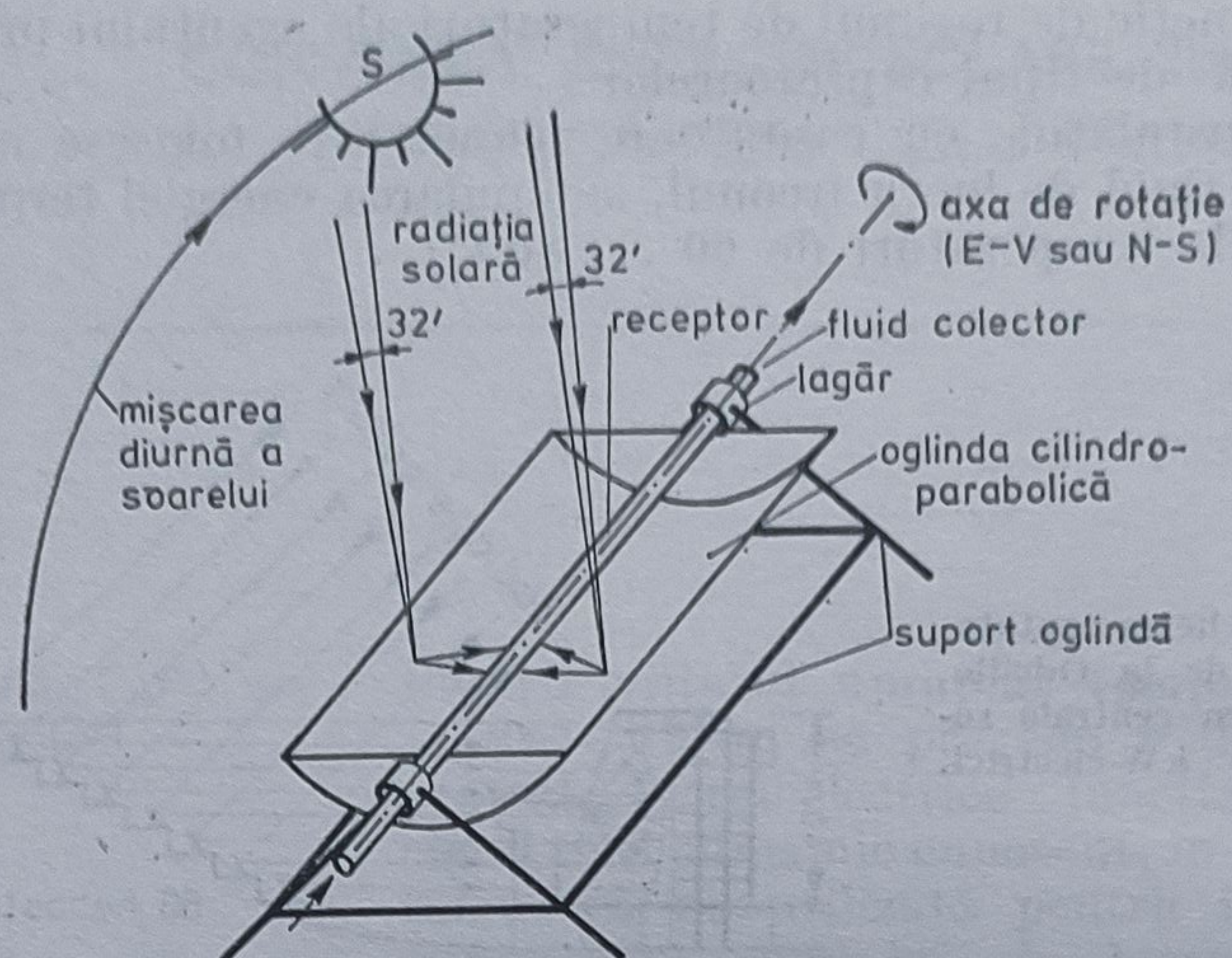


Fig. 3. — Schema unui colector cilindro-parabolic.

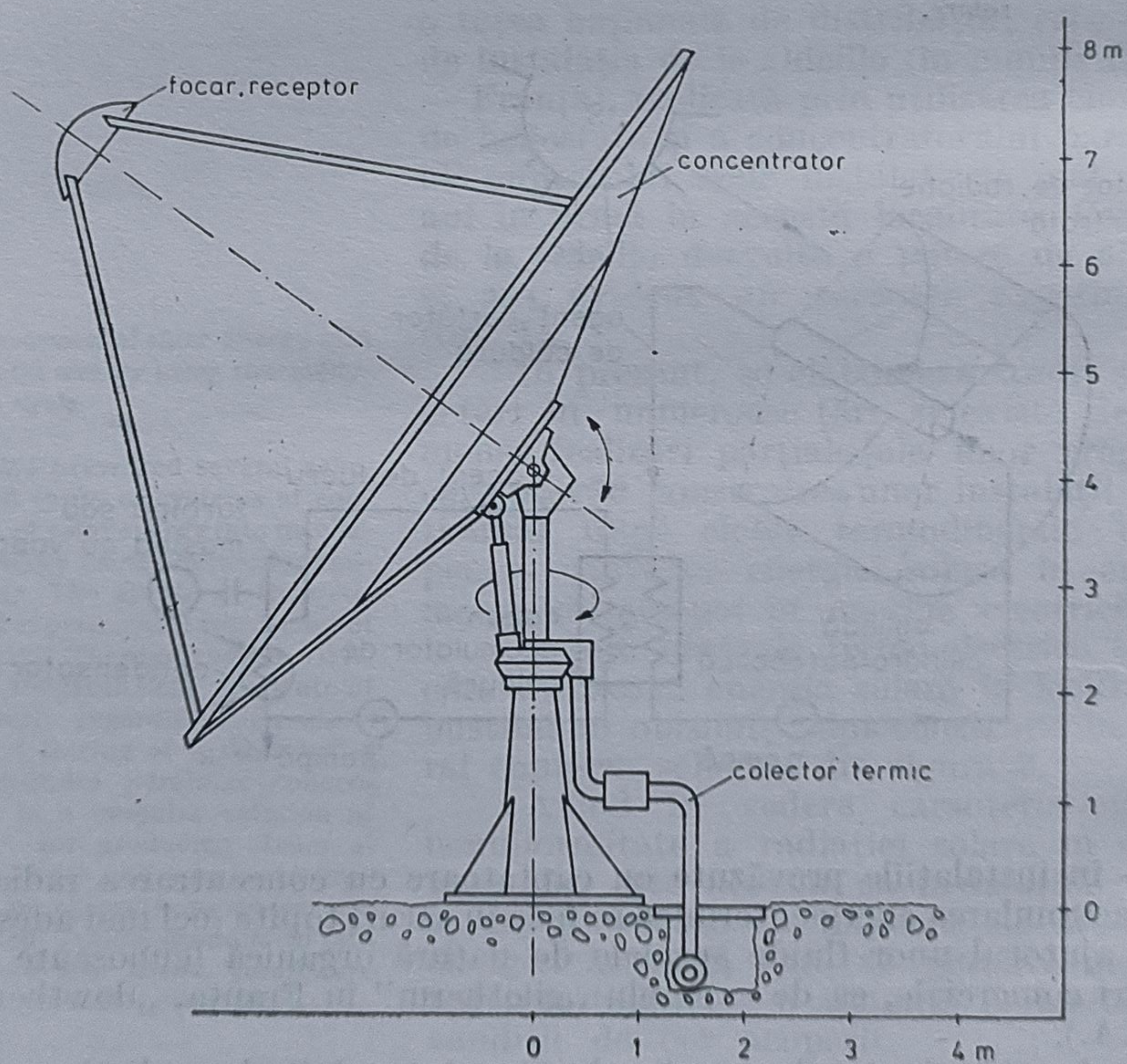


Fig. 4. — Schema unui colector cu oglindă parabolică (calotă).



cu coeficient de concentrare 1, folosind agenți termici de temperatură joasă ( $60-80^{\circ}\text{C}$ ); instalații cu captatoare prevăzute cu oglinzi cilindro-parabolice, cu coeficienți de concentrare a radiației solare  $25-30$ , folosind agenți termici de temperatură medie ( $200-220^{\circ}\text{C}$ ) (fig. 3); instalații cu captatoare cu oglinzi de forma unor calote parabolice (paraboloizi de rotație), cu coeficienți de concentrare  $250-300$ , folosind agenți termici de temperatură înaltă ( $350-400^{\circ}\text{C}$ ) (fig. 4); instalații cu heliostate și cu captator de radiație amplasat în turn, cu coeficienți de concentrare a radiației solare de ordinul  $300-500$  (fig. 5).

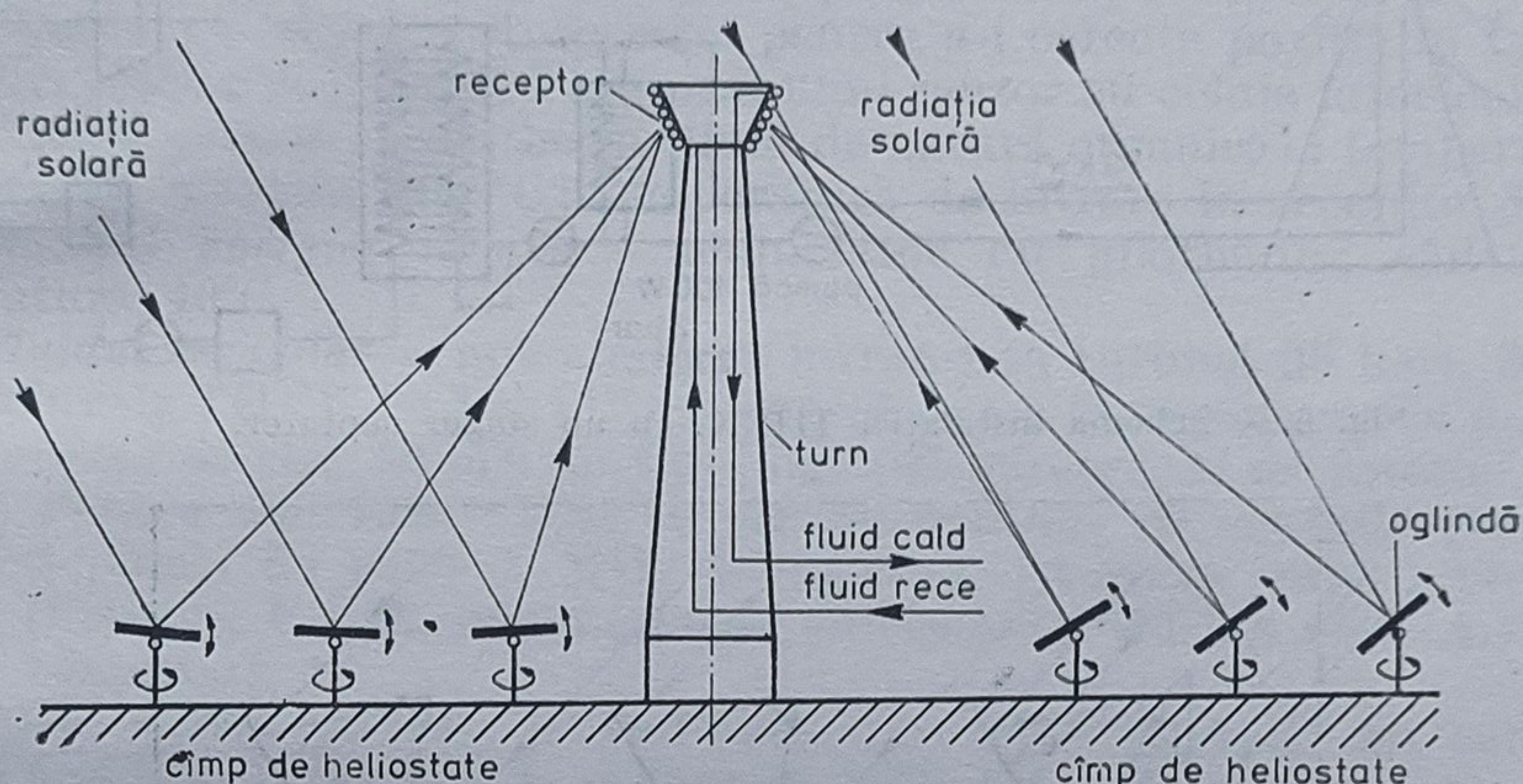


Fig. 5. — Schema unui cazan solar montat în vârful unui turn, unde se concentrează radiația solară cu ajutorul câmpului de heliostate.

Principalele programe de cercetare și de realizare în perioada 1979 — 1985, a unor centrale termo-electrice utilizând energia solară, așa cum rezultă din publicațiile de specialitate, sînt următoarele:

a) Proiectul francez BERTIN care prevede realizarea unor instalații de puteri  $200-300\text{ kW}$ , destinate unor mici localități sau pentru necesități industriale. Instalația este prevăzută cu captatoare de radiații avînd oglinzi cilindro-parabolice cu receptoare proprii, în care se încălzește fluidul primar; captatoarele de radiații sînt amplasate în sere (fig. 3). Factorul de concentrare a oglinzilor cilindro-parabolice este 21. Temperatura fluidului primar (giloterm)  $200-250^{\circ}\text{C}$ , cu stocare la același nivel de temperatură, în strat de pietre.

Fluidul primar preia căldura în receptoare și apoi este condus printr-o rețea de conducte la sistemul de stocare; fluidul de lucru (fluid organic) se vaporizează într-un schimbător de căldură unic, vaporii acționînd turbina.

b) Proiectul THEK (dezvoltat în Franța) prevede construirea unor module unitare de conversie termodinamică a energiei solare, în vederea realizării unor centrale electrice solare cu puteri de ordinul sutelor de kW.

Forma modulului heliotermic și schema instalației pot fi urmărite în figurile 4, 6, 7.



Pentru *gama puterilor medii*, a fost reținută ideea utilizării unor convertori heliotermici, individuali, ca reprezentând soluția cea mai avantajoasă. Proiectul THEK, bazat pe această idee, este realizat în Franța sub coordonarea CNRS.

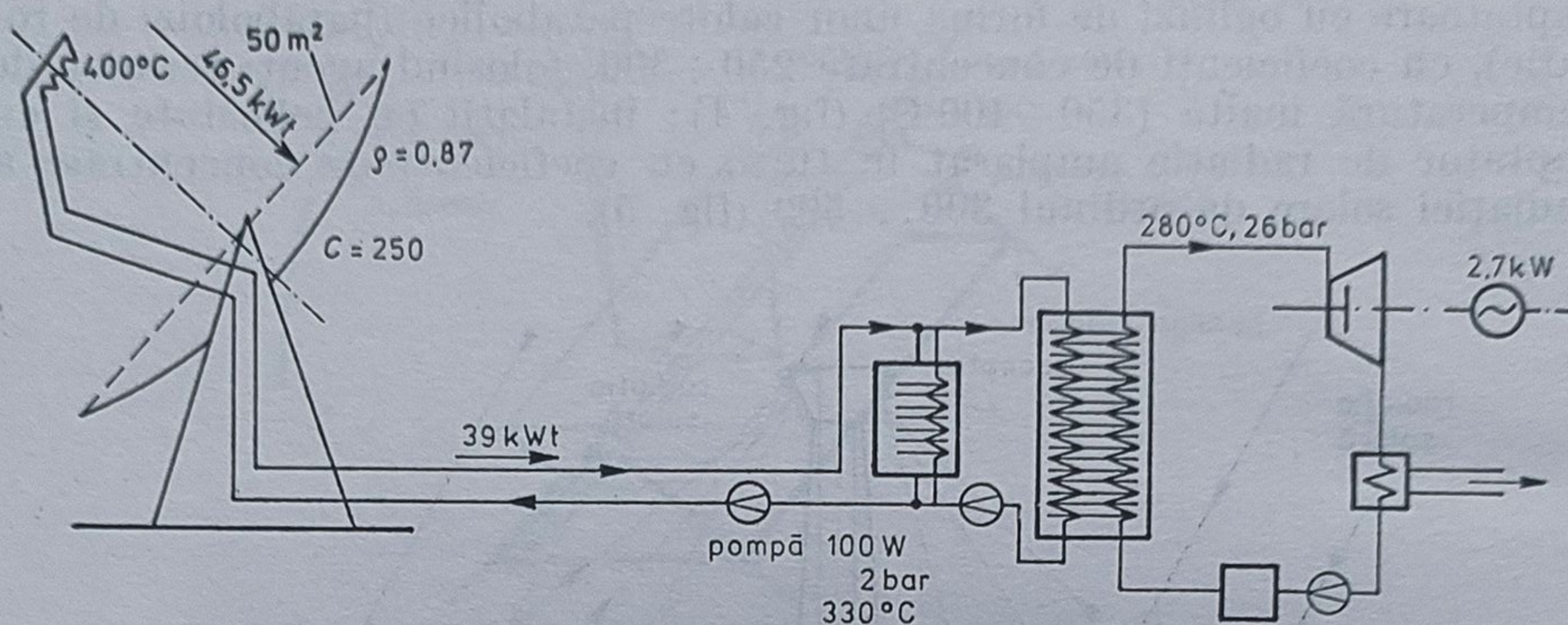


Fig. 6. — Schema instalației THEK, cu un singur captator.

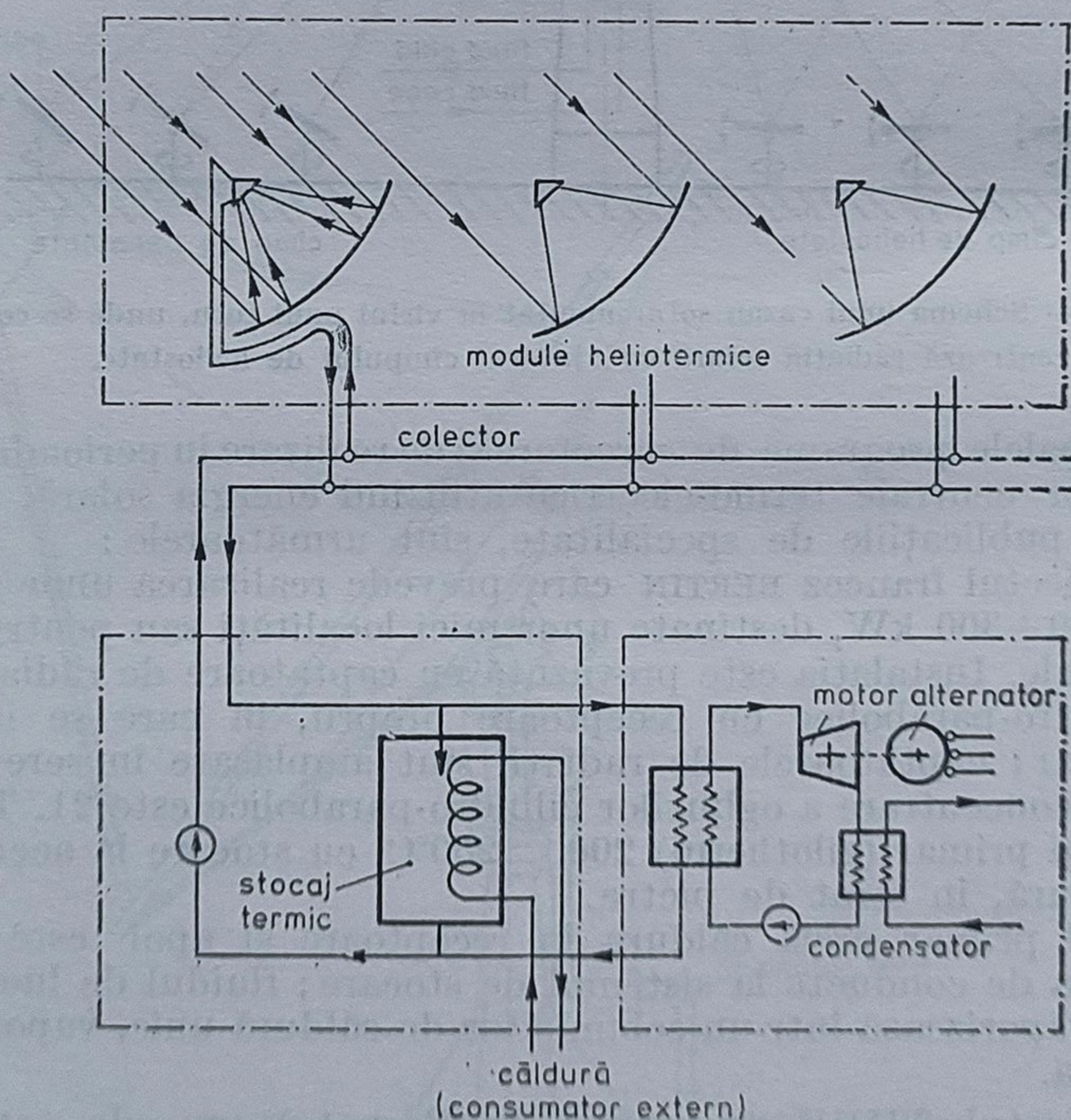


Fig. 7. — Schema instalației THEK cu mai mulți captatori.

*Modulul convertor* cuprinde următoarele elemente: concentrator paraboloid de revoluție, cu suprafața de captare de 50 m²; receptorul, amplasat în focarul oglinzii; cadrul și elementele de orientare (cu mișcare în jurul a 2 axe).



*Concentratorul* construit din 750 fațete de oglindă argintată, cu coeficientul de reflecție 0,87: suprafața de captare  $50 \text{ m}^2$ ; semi-unghiul de deschidere a oglinzii  $45^\circ$ ; diametrul oglinzii 8 m; distanța focală 4,8 m; factor de concentrare 250.

*Receptorul* construit dintr-un cazan monotubular, cu țevi de cupru, cu acoperire specială ( $A = 0,97$ ): temperatura maximă  $400^\circ\text{C}$ ; secțiunea de deschidere a focarului  $\varnothing = 0,5 \text{ m}$ ; suprafața de schimb de căldură  $0,55 \text{ m}^2$ .

*Automatizarea* pentru orientarea modulului este deservită de două sisteme care asigură: o mișcare orară, programată, independent de prezența soarelui; o mișcare de corecție pentru a-i corecta poziția în funcție de poziția reală a soarelui (cu ajutorul unui senzor cu celule fotoelectrice).

*Fluidul primar* — gilothersm (fluid de natură organică): temperatura de ieșire din receptor  $400^\circ\text{C}$ ; temperatura de intrare în receptor  $320^\circ\text{C}$ .

*Stocajul energiei termice* — acumulator cu gilothersm; cădere de temperatură  $40^\circ\text{C}$ .

*Fluidul secundar* — apă-abur; la intrarea în turbină 26 bari,  $280^\circ\text{C}$ .

Centrala THEK de 100 kW este prevăzută a funcționa cu 26 module (cu suprafața de câte  $50 \text{ m}^2$ ) de tipul oglindă-paraboloid de rotație.

c) Pentru anii 1980—1985 se prevăd realizări de centrale electrice solare cu puteri de peste 1 MW. În această categorie intră proiectele THEM (Franța), C.E.E. (comunitatea europeană), ERDA (S.U.A.) Mitsubishi (Japonia).

Toate aceste proiecte prevăd realizarea unor instalații cu turn de captare a radiației concentrate și câmp de heliostate. Dintre aceste proiecte se prezintă proiectul THEM—1: Centrală cu puterea de 3500 kW (fig. 5).

Radiația solară este captată pe o suprafață de  $25\,000 \text{ m}^2$  (500 de heliostate de câte  $50 \text{ m}^2 \simeq 7 \times 7 \text{ m}$ ). Considerând o radiație medie de  $800 \text{ W/m}^2$ , rezultă captarea unei puteri radiante de 20 milioane de watt (20 MW), concentrată pe un receptor — cazan situat în vârful unui turn de beton de 120 m înălțime.

Fluidul primar este un amestec eutectic de săruri topite adus la circa  $350^\circ\text{C}$ . El alimentează două rezervoare de stocaj de  $1\,000 \text{ m}^3$ , fiecare, asigurând o autonomie de funcționare de 6 ore.

Fluidul primar trece apoi printr-un schimbător de căldură-vaporizator. Se produce abur la 60 bari și  $340^\circ\text{C}$  care se destinde în turbină dezvoltând o putere de 3,5 MW. Factorul de concentrare este circa 500.

Se estimează un randament efectiv al centralei de 18 % (devine comparabil cu cel al centralelor clasice 30—35 %). Amplasarea centralei solare este în sudul Franței unde se dispune de peste 27 000 ore/an soare.

Probleme speciale se ridică în construcția și orientarea heliostatelor. Cele mai depărtate heliostate se vor afla la câteva sute de metri de receptorul din vârful turnului; pentru concentrarea radiației se impune o precizie a unghiului de reflecție de *câteva miimi de radian* (nu mai mult de  $15'$ ) în orientarea lor. O altă problemă o ridică vântul care poate să miște heliostatele (heliostatele se pot așeza pe orizontală, în caz de vânt puternic). Pentru a orienta heliostatele se va folosi un calculator central.

Prețul heliostatelor este în prezent, de circa  $1\,000 \text{ F/m}^2$ . Pentru ca 1 kWh produs în aceste centrale să devină competitiv ar trebui să se reducă prețul la circa  $400 \text{ F/m}^2$ .







Se prevede pentru anul 1982 o centrală THEM-2 de putere 10 MW, cu circa 1 500 heliostate (considerat ca număr limită).

În urma cercetărilor teoretice și experimentale efectuate în Institutul politehnic București, la Catedra termotehnică și mașini termice, în vederea realizării unui motor solar de 1 kW, din multitudinea de scheme posibile, ne-am decis asupra schemei cu concentrator cilindro-parabolic, cu turbină cu vaporii (fig. 2).

În consecință, în continuare cercetările noastre s-au axat pe studiul, proiectarea, realizarea și experimentarea concentratorilor cilindro-parabolici [5—16].

S-au studiat (cu ajutorul calculatorului electronic) patru tipuri de concentratori cilindro-parabolici cu același unghi de deschidere  $\mu = 60^\circ$  și cu deschiderea diferită  $D=1, 2, 3, 4$  m. Pe baza acestor studii s-au proiectat și realizat în cadrul Catedrei de termotehnică din IPB următoarele oglinzi cilindro-parabolice, cu receptoarele de radiație concentrată corespunzătoare (fig. 8): 1 — o oglindă cu  $D = 1$  m și lățimea 20 cm ( $S = 0,2 \text{ m}^2$ ), 2 — o oglindă cu  $D = 2$  m și lățimea 1 m ( $S = 2 \text{ m}^2$ ), 3 — o oglindă cu  $D = 4$  m și lățimea 2 m ( $S = 8 \text{ m}^2$ ) (fig. 9), 4 — o oglindă cu  $D = 4$  m și lățimea 3 m ( $S = 12 \text{ m}^2$ ), 5 — o oglindă cu  $D = 4$  m și lățimea de 4 m ( $S = 16 \text{ m}^2$ ), 6 — un ansamblu de trei oglinzi de câte  $12 \text{ m}^2$  ( $S = 36 \text{ m}^2$ ) [9], 7 — un ansamblu de două oglinzi de câte  $12 \text{ m}^2$  și o oglindă de  $16 \text{ m}^2$  cuplate în serie și montate pe un ax orientat E—V, totalizând o suprafață de captare de  $40 \text{ m}^2$ , 8 — o oglindă constituită din 6 module de câte  $16 \text{ m}^2$  ( $4 \times 4$ ), legate monobloc, cu posibilitatea de mișcare în jurul unui ax unic orientat E—V cu o suprafață totală de captare de  $100 \text{ m}^2$  (fig. 10).

Caracteristicile geometrice și performanțele de focalizare sînt indicate în tabela 1. Factorii de concentrare  $C = 33 \div 40$  îi apreciem mulțu-

Tabela 1

Caracteristicile și performanțele de focalizare ale oglinzilor cilindro-parabolice

Deschiderea	Distanța focală	Săgeata oglinzii	Lățimea focarului		Factorul de conc.
			teoretică	experimentală	
$D,$ m	$f = \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot D,$ m	$a = \frac{\sqrt{3}}{12} \cdot D,$ m	$d_{F \cdot t} = \frac{D}{100},$ m	$d_{F \cdot e} \leq \frac{D}{10},$ m	$C^{*)}$
1	0,433	0,144	0,01	0,1(0,028)**)	35
2	0,866	0,287	0,02	0,2(0,050)**)	40
3	1,299	0,433	0,03	0,3	—
4	1,732	0,577	0,04	0,4(0,12)**)	33

\*)  $C$ —factorul de concentrare a radiației (raportul între suprafața proiecției oglinzii în planul perpendicular pe raza solară și suprafața liniei focale).

\*\*) Valorile din paranteze sînt obținute experimental.



mitori pentru scopuri energetice. Într-adevăr cu acești captatori am obținut temperatura de echilibru maximă în focar de  $350^{\circ}\text{C}$ , iar temperaturile de  $300\div 310^{\circ}\text{C}$  au fost foarte uzuale.

Pentru oglinda cilindro-parabolică de  $8\text{ m}^2$  s-a proiectat și realizat un receptor de radiație concentrată de tipul cazan cu străbatere forțată, cu care am reușit să producem vapori de apă supraîncălziți la temperatura  $t = 140^{\circ}\text{C}$ , presiunea  $1,3\text{ at}$  și un debit de  $6\text{ kg/h}$ ; la un randament de captare de circa  $40\%$ . Regimul pe care ni l-am propus să-l folosim în turbina cu aburi este  $t = 200^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 10\text{ at}$ , cu vaporizare la  $170^{\circ}\text{C}$ .

În aceste condiții rezultă un randament de captare de  $15\text{--}20\%$ , cu care pentru o putere de  $1\text{ kW}$ , rezultă o suprafață necesară de oglinzi de circa  $100\text{ m}^2$ .

Din acest motiv cercetările noastre s-au axat în continuare pe realizarea unei instalații modulare cu suprafața de captare de  $100\text{ m}^2$ , care să producă circa  $1\text{ kW}$  (fig. 10). O astfel de instalație modulară poate fi multiplicată de  $10\div 50$  ori producând astfel într-o turbină unică puteri de circa  $10\div 50\text{ kW}$ .

S-a studiat și posibilitatea folosirii sărurilor topite ca agent de stocaj al energiei termice și s-a găsit un amestec eutectic cu punctul de topire

Fig. 10 a. — Ansamblul cazan solar cu oglindă cilindro-parabolică cu suprafața de captare de  $100\text{ m}^2$  și receptor de radiație concentrată de tip plan.

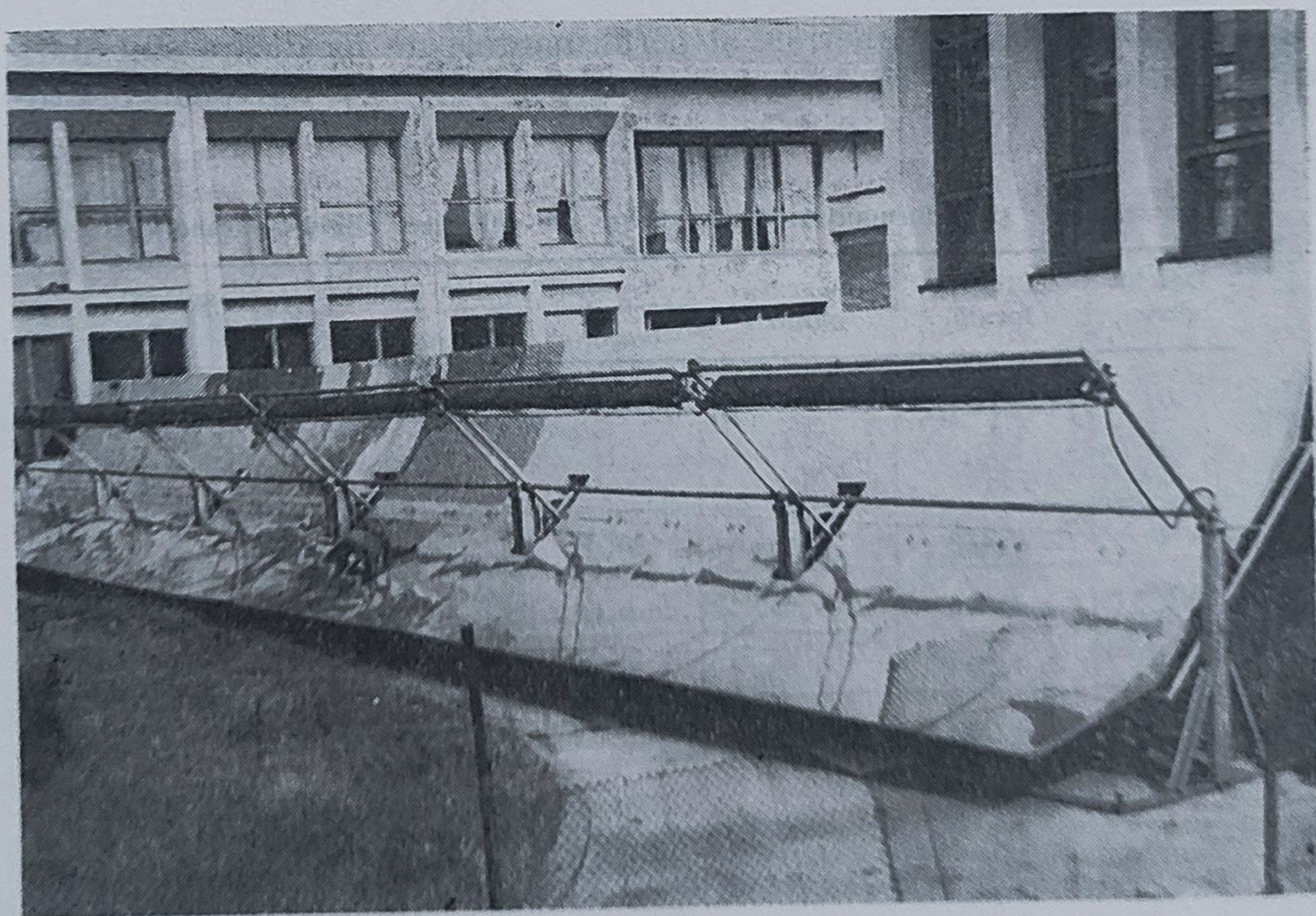






Fig. 10 b. — Receptorul de radiație concentrată al cazanului solar, de tip plan (se observă soluția originală de montare a geamurilor în V deoarece montajul plan paralel conduce la spargerea geamurilor).

la 218°C, ca fiind potrivit sistemelor care utilizează agent de lucru la circa 200 °C.

### Considerații economice și studiu de oportunitate

Prețul colectoarelor estimat în studii americane, pentru o centrală electrică solară este de 25 \$/m<sup>2</sup> la nivelul anului 1990 când se apreciază că astfel de centrale vor deveni comerciale [1]. Costul calculat pentru 1 kWe instalat (solar) la nivelul anului 1990 pentru trei tipuri de centrale diferite



din punctul de vedere al raportului: aria colectoarelor ( $\text{km}^2$ )/stocarea termică (h) este cel indicat în tabela 2.

Tabela 2

Costurile unor centrale solare (estimări pentru anul 1990)

	Centrale de bază	Centrale cu funcționare intermediară	Centrale de vîrf
$\frac{S_{\text{colector}}}{h_{\text{stocare}}}$ $\left[ \frac{\text{km}^2}{\text{h}} \right]$	$\frac{30}{12}$	$\frac{20}{6}$	$\frac{10}{3}$
Costul [\$/kWe]	2 385	1 615	1 015

O comparație între costurile kWe-instalat, în diverse tipuri de centrale la nivelul anului 1990 este prezentată în tabela 3 pentru o putere instalată de 1 kW.

Tabela 3

Comparație între costurile centralelor solare și clasice

	Centrală solară	Centrală nucleară	Centrală cu cărbune	Ciclul combinat
costul unui kWe [\$ /kWe]	2 385 30 $\text{km}^2$ colector, 12 ore stocare	562 reactor cu apă sub presiune	528 cărbune cu conținut scăzut de sulf	330

Comparînd proprietățile radiației solare din țara noastră cu cele din sudul S.U.A. (pentru care au fost făcute estimările prețurilor din tabelele 2 și 3), se constată că în lunile de primăvară și în special în cele de vară insolațiile zilnice totale din țara noastră (București, Constanța, Delta Dunării) sînt comparabile cu cele din sudul Statelor Unite (adică 92 % în iunie și 78 % în septembrie).

Din păcate în lunile de iarnă căderea insolației totale zilnice din țara noastră este drastică față de cea din S.U.A. În plus numărul de zile senine iarna este relativ scăzut ( $6 \div 7$  zile/lună) în raport cu numărul zilelor de vară senine ( $13 \div 21$  zile/lună — Constanța;  $17 \div 23$  zile/lună Sulina;  $8 \div 16$  zile/lună — București). Situația din sudul S.U.A. este mult mai favorabil și din acest punct de vedere, practic zile cu nori fiind foarte puține atît vara cît și iarna.

Prin urmare în timp ce în sudul S.U.A. se poate utiliza o centrală solară în tot cursul anului ; în țara noastră o asemenea centrală se poate practic folosi numai în lunile de primăvară — vară și începutul toamnei.

În consecință în calculele economice privind realizarea unei centrale solare în țara noastră, nu se pot lua direct în considerare cifrele estimate



din studiile efectuate în S.U.A., deoarece durata de utilizare la noi este mai mică decât în S.U.A.

Este de remarcat faptul că studiile franceze ajung la concluzia că construcția unor centrale solare de ordinul 3,5 MW vor fi realizabile în Franța la nivelul anului 1981 (Them 1). Parametrii acestei centrale se plasează sub cei americani; și anume 340°C, 60 bari pentru vapori de apă. Această centrală ar dispune de un regim de insolație de 2 700 ore/an (în comparație cu 2 400 ore/an, la Sulina, adică 88 %).

Centrala solară americană ERDA propusă inițial a se realiza în California în 1980 urma să aibă 10 MW, cu parametrii aburului 510°C la 88 bari. În momentul de față ea este încă în stadiul de testare a unor subansamble (nu a fost dată în exploatare la întreaga capacitate).

Studiile franceze indică prețul heliostatelor de circa 1 000 F/m<sup>2</sup> arătând că pentru ca energia solară să devină competitivă este necesar ca acest preț să scadă la 400 F/m<sup>2</sup>, ceea ce s-ar putea obține numai printr-o fabricație de serie mare.

Țările în curs de dezvoltare subtropicale se orientează spre centrale cu puteri relativ mici: 100 ÷ 1 000 kW. Cîteva proiecte franceze, germane și austriace încearcă să satisfacă astfel de cereri (de exemplu proiectul Bertin).

În fine pentru puteri și mai mici (5—300 kW) proiectele franceze, americane, germane etc. au în vedere utilizarea captatoarelor cilindro-parabolice, soluție la care am ajuns și noi, pentru instalația de motor solar stabil de 1 kW\*).

Pentru instalația de 1 kW proiectată de noi, a rezultat o suprafață de oglinzi necesară de circa 100 m<sup>2</sup>, care conduce la un cost al oglinzilor de circa 100 000 lei/kWe, care odată cu realizarea unei producții de serie pentru astfel de captatori, este de așteptat să scadă. Să comparăm această cifră cu estimările franceze și americane.

Tabela 4

Comparație între estimarea unor costuri ale oglinzilor folosite în diverse centrale solare

Țara	România	Franța	S.U.A.
Costul oglinzilor pentru 1 kWe	100 000 lei IPB	7 140 THEM-1	2 385 — centrală de bază 1 015 — centrală de vîrf

Ținînd cont de durata mai mică de utilizare, comparativ cu centralele americane și franceze, rezultă că pentru a deveni economică în țara noastră o centrală solară trebuie să impunem niște condiții mai severe în costurile oglinzilor, decât în S.U.A. și Franța.

O soluție rațională este de asemenea aceea de a da o astfel de destinație instalației solare încît pentru fiecare 1 kWe, să producă și căldură adică circa 20 kW-termici — pentru apă caldă. În aceste condiții randamentul instalației crește de la 1 ÷ 2 % la circa 20 %.

În perspectivă, mărirea puterii la 100 kWe, ar însemna o suprafață de circa 10 000 m<sup>2</sup> și o putere termică de circa 2 MWt.

\*) Realizat în baza unui contract de cercetare încheiat între IPB-Catedra termotehnică și mașini termice și ICPE.



## Bibliografie

1. PETER BOS, *Solar-to-thermal Energy Application to Large Central Power Plants*, The Aerospace Corporation, S.U.A., 1976.
2. ALAIN LEDOUX, *THEM-1, Centrale solaire française, première d'une série*, *Energie* (1978).
3. \* \* \* *Application thermiques de l'énergie Solaire dans le domaine de la recherche et de l'industrie*, Mont Louis, 23—28 Juin 1958, CNRS, Paris, 1961.
4. \* \* \* *Projet THEK. Unités de production d'énergie de moyenne puissance par conversion thermique du rayonnement solaire*, Université de Provence. Département de la recherche scientifique, C.N.R.S., Marseille, Avril, 1977.
5. AL. DĂNESCU, ST. PETRESCU, S. DIMITRIU, T. BRUSALIS, *Probleme actuale privind utilizarea energiei solare în instalațiile termo-energetice*, *Buletinul IPB, Seria Mecanică*, **XL**, 3 (1978).
6. M. GRIGORIU, S. TRIFAN, AL. DĂNESCU, ST. PETRESCU, *Studiul privind oportunitatea utilizării diferiților agenți de lucru în cazul instalațiilor termoenergetice solare cu turbine cu vapori de joasă și medie temperatură*, *Rev. electrotehnica, electronica, automatica*, București, anual 26, 8, Nov. (1978).
7. ST. PETRESCU, AL. DĂNESCU, N. BĂRAN, S. DIMITRIU, *Experimental research concerning the use of solar energy in the generation of electric energy*, *Proceedings of the 2nd International Solar Forum*, Hamburg, R.F.G., 1978.
8. E. TĂNĂSESCU, AL. DĂNESCU, ST. PETRESCU, *Studiu asupra defocalizării oglinzii cilindro-parabolică*, *Buletinul IPB, Seria mecanică XL*, 4(1978).
9. ST. PETRESCU, AL. DĂNESCU, S. DIMITRIU, N. BĂRAN, *A computation method and experimental study of the efficiency of solar collectors with cylindrical-parabolic concentrators of 36 m<sup>2</sup>*, *Proceedings of IPES Summer Conference*, Zurich, Elveția, 1979.
10. ST. PETRESCU, AL. DĂNESCU, S. BUCURENCIU, *1—10 kW Solar Power Plant with cylindrical-parabolic Concentrators*, *Proceedings of Izmir International Symposium II on Solar Energy Fundamentals and Applications*, Izmir, Turcia, 1979.
11. ST. PETRESCU, AL. DĂNESCU, D. ȘTEFĂNESCU, T. DUICU, S. DIMITRIU, *Studiul și realizarea unui concentrator cilindro-parabolic pentru instalații termoenergetice solare*, *Buletinul IPB, XLI*, 1 (1979).
12. ST. PETRESCU, AL. DĂNESCU, D. ȘTEFĂNESCU, T. DUICU, S. DIMITRIU, S. TRIFAN, M. GRIGORIU, O. MĂLĂNCIOIU, N. BĂRAN, T. BRUSALIS, *Realizarea și testarea unor colectoare solare cu concentratori cilindro-parabolici cu deschiderea de 1 m, 2m, și 4 m*, *Buletinul IPB, XLI*, 2(1979).
13. E. TĂNĂSESCU, AL. DĂNESCU, ST. PETRESCU, *Factorul geometric privind radiația solară în țara noastră*, *Buletinul IPB, XLI*, 3 (1979).
14. AL. DĂNESCU, S. BUCURENCIU, ST. PETRESCU, *Utilizarea energiei solare*, Edit. tehnică, București, 1980.
15. ST. PETRESCU, AL. DĂNESCU, S. BUCURENCIU, *1—10 kW solar power plant with modular cylindrical-parabolic concentrators of 100 m<sup>2</sup>, oriented E—W*, *Proceedings of the 3rd International Solar Forum*, Hamburg, R.F.G., 1980.
16. ST. PETRESCU, AL. DĂNESCU, N. BĂRAN, *Combined solar power plants for irrigation and for heating greenhouses using modular cylindrical parabolic concentrators*. In vol. *Energy conservation and use of renewable energies in the Bio-industries*, Editat de F. Vogt, Pergamon Press, Oxford and New York, 1981.



## SISTEME DE ORIENTARE A CONCENTRATOARELOR SOLARE

Sorin BUCURENCIU\*)

Se pare că soluția de viitor pentru instalațiile solare de mare putere — cuptoare solare, centrale electrice solare cu sau fără ciclu termodinamic intermediar etc. — este aceea a utilizării colectoarelor cu concentrator (cu focalizare) [2].

Eficiența unui tip dat de colector solar cu concentrator de tip reflectant, de exemplu, este dependentă de raportul dintre cantitatea de radiații care ajung pe suprafața absorbantă a receptorului și cantitatea totală de radiații primite de oglinzile reflectante de la Soare. Acest raport este determinat, în principal, de doi factori: (a) calitatea suprafeței oglinzilor reflectante și (b) precizia urmăririi Soarelui de către oglinzile reflectante.

Cu cât se cere însă o precizie mai mare în urmărirea Soarelui, instalația de acționare a oglinzilor este mai ancombrantă și mai costisitoare. De aceea alegerea sistemului de acționare a oglinzilor este rezultatul unui compromis între performanțele cerute instalației solare și costul acesteia.

Într-un punct dat  $P$  de pe Pământ, la un moment dat, poziția Soarelui poate fi descrisă prin două coordonate unghiulare (fig. 1): altitudinea  $\alpha$  deasupra orizontului, și azimutul  $\beta$  măsurat față de direcția nord-sud și considerat pozitiv spre direcția est-vest.

Aceste coordonate sînt funcții cunoscute de: latitudinea locală  $\lambda$  (pozitivă în emisfera nordică); declinația  $\delta$  (pozitivă vara în emisfera nordică); unghiul temporal  $\tau$  (în grade  $\tau = 15H$ , unde  $H$  reprezintă timpul măsurat în ore față de amiaza solară locală, pozitiv după amiaza), și anume:

$$\sin \alpha = \cos \lambda \cos \delta \cos \tau + \sin \lambda \sin \delta, \quad (1)$$

$$\sin \beta = \frac{\cos \delta \sin \tau}{\sin \alpha}.$$

Orientation systems for solar concentrators

The main computational features for orientation systems of solar concentrators are emphasized.

\*) Institutul politehnic București.



Deci, pentru a urmări mișcarea aparentă a Soarelui, oglinzile reflectante trebuie să aibă, în principiu, două grade de libertate, corespunzătoare celor două coordonate unghiulare de mai sus.

Metoda uzuală de acționare a unei singure oglinzi concentratoare, ilustrată schematic în figura 2, este bazată pe folosirea unui servosistem

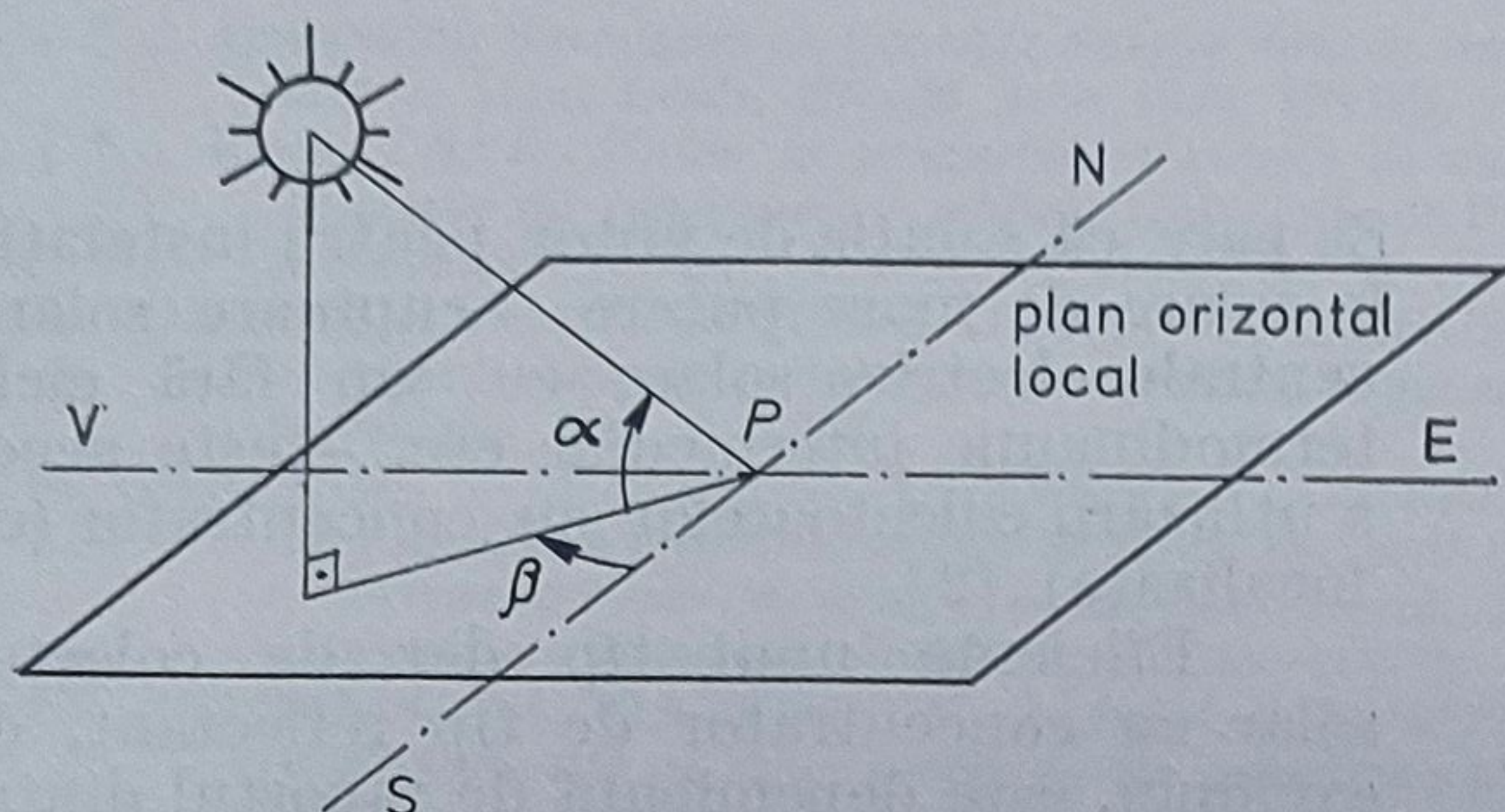


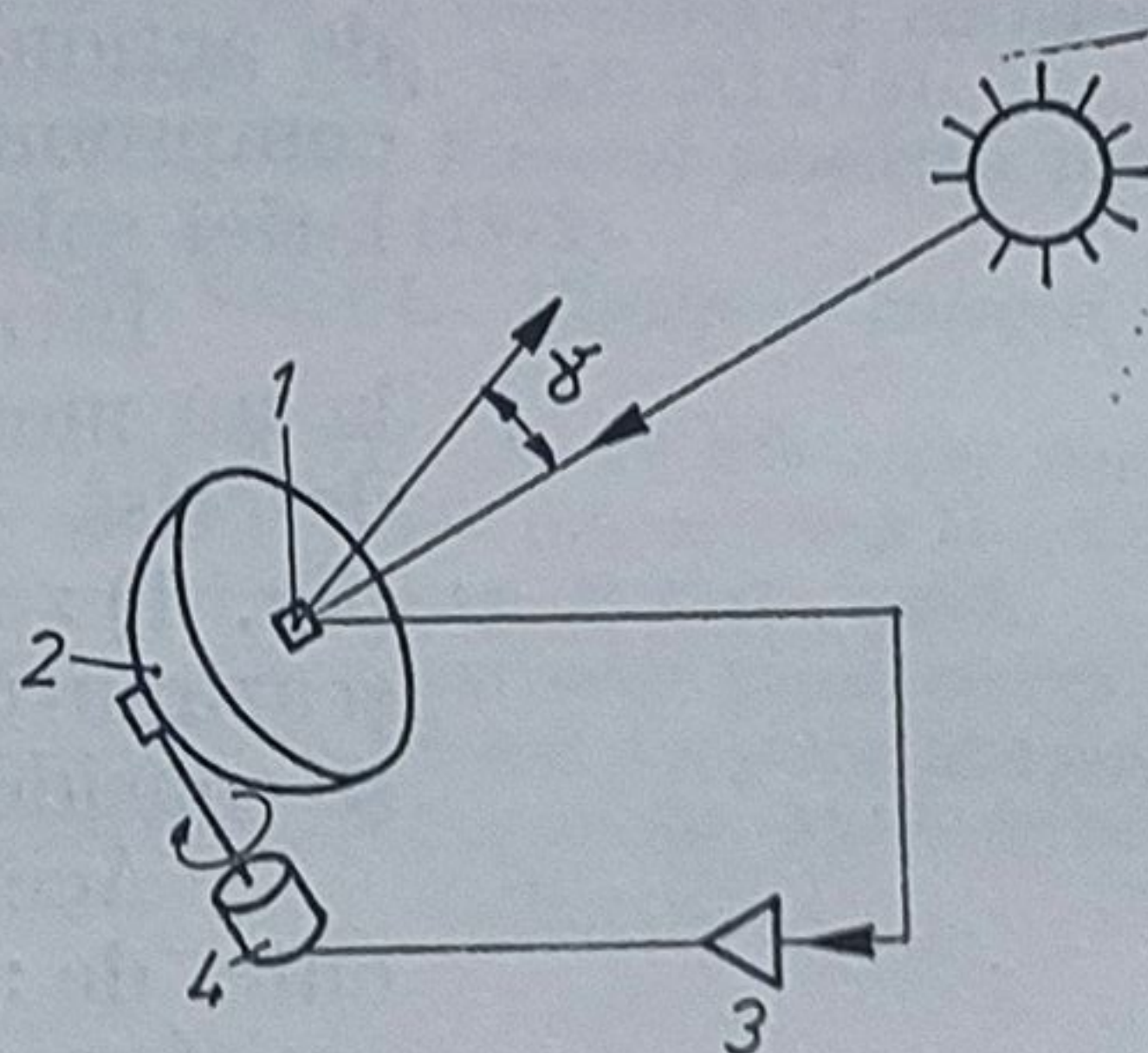
Fig. 1. — Coordonatele unghiulare ale Soarelui.

local de poziționare în care un fotosenzor 1, montat pe oglinda 2, furnizează un semnal de eroare — dependent de eroarea unghiulară  $\gamma$  — care, amplificat de către amplificatoarele de putere 3, este aplicat motoarelor de acționare 4, în general două la număr, corespunzătoare celor două grade de libertate ale oglinzii.

În cazul unui heliostat — oglindă plană sau cvasiplană a cărei normală trebuie suprapusă peste bisectoarea unghiului format de direcția Soarelui cu direcția unui focar fix, se folosește de regulă un fotosenzor solidar cu fundația instalației și orientat precis în direcția focarului fix (fig. 3). Principiul de funcționare este analog celui descris anterior.

Fig. 2. — Schema uzuală de acționare a unei oglinzi concentratoare :

1 — senzor solar; 2 — oglindă;  
3 — amplificator de putere; 4 — motor de acționare;



În cazul unui câmp de oglinzi, se pot grupa mai multe oglinzi cuplate mecanic care să fie acționate simultan prin unul dintre servosistemele de tipul prezentat mai sus, atașat unei oglinzi monitor.

Dacă câmpul de oglinzi este însă foarte mare (zeci sau sute de mii de oglinzi), așa cum se întrevide pentru centralele electrice de puteri ridicate, unde problemele sînt foarte complexe, sistemele prezentate anterior sînt nesatisfăcătoare atît din punctul de vedere al performanțelor cît și al

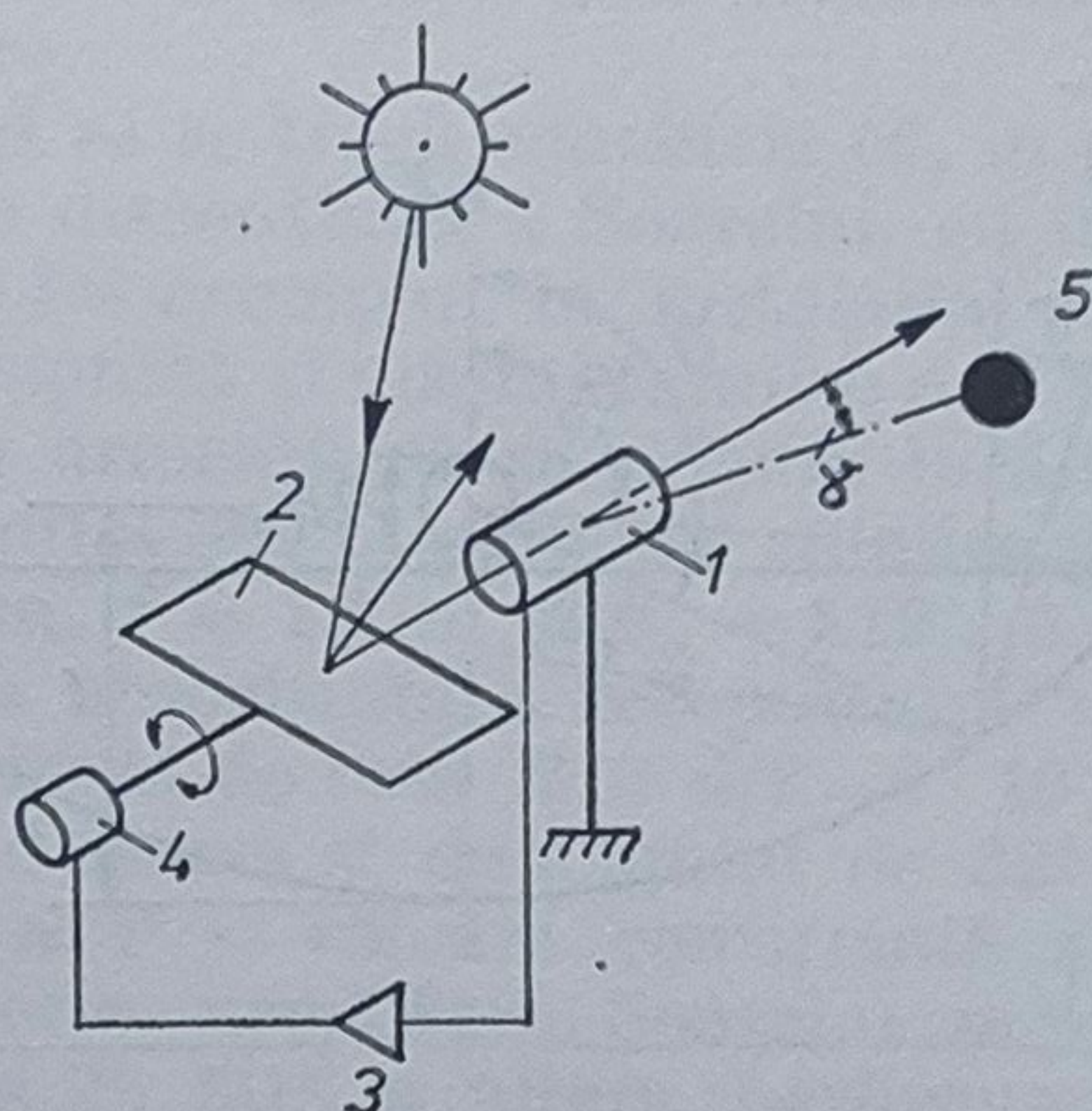


costului. Într-o astfel de situație un sistem posibil de acționare a oglinzilor (heliostatelor), recomandabil a fi utilizat, este cel prezentat schematic în figura 4.

Sistemul dispune de un calculator central care comandă motoarele de acționare ale fiecărui heliostat, sau grup de heliostate cuplate mecanic,

Fig. 3. — Schema uzuală de acționare a unui heliostat :

1 — senzor solar fix ; 2 — heliostat ; 3 — amplificator de putere ; 4 — motor de acționare ; 5 — focar fix.



pentru a urmări Soarele astfel încât razele reflectate să fie îndreptate spre receptorul aflat în partea superioară a unui turn. În memoria calculatorului se găsesc coordonatele Soarelui  $\alpha$  și  $\beta$ , corespunzătoare fiecărui heliostat în fiecare moment, conform ecuațiilor (1), precum și instrucțiuni referitoare la deciziile pe care trebuie să le ia în cazuri de condiții meteorologice nefavorabile (furtună, zăpadă, acoperire parțială cu nori a câmpului de heliostate etc.) [1].

Periodic heliostatele sînt comandate pe rînd să se orienteze spre un grup de senzori de calibrare, aflați pe turn imediat sub receptor, care

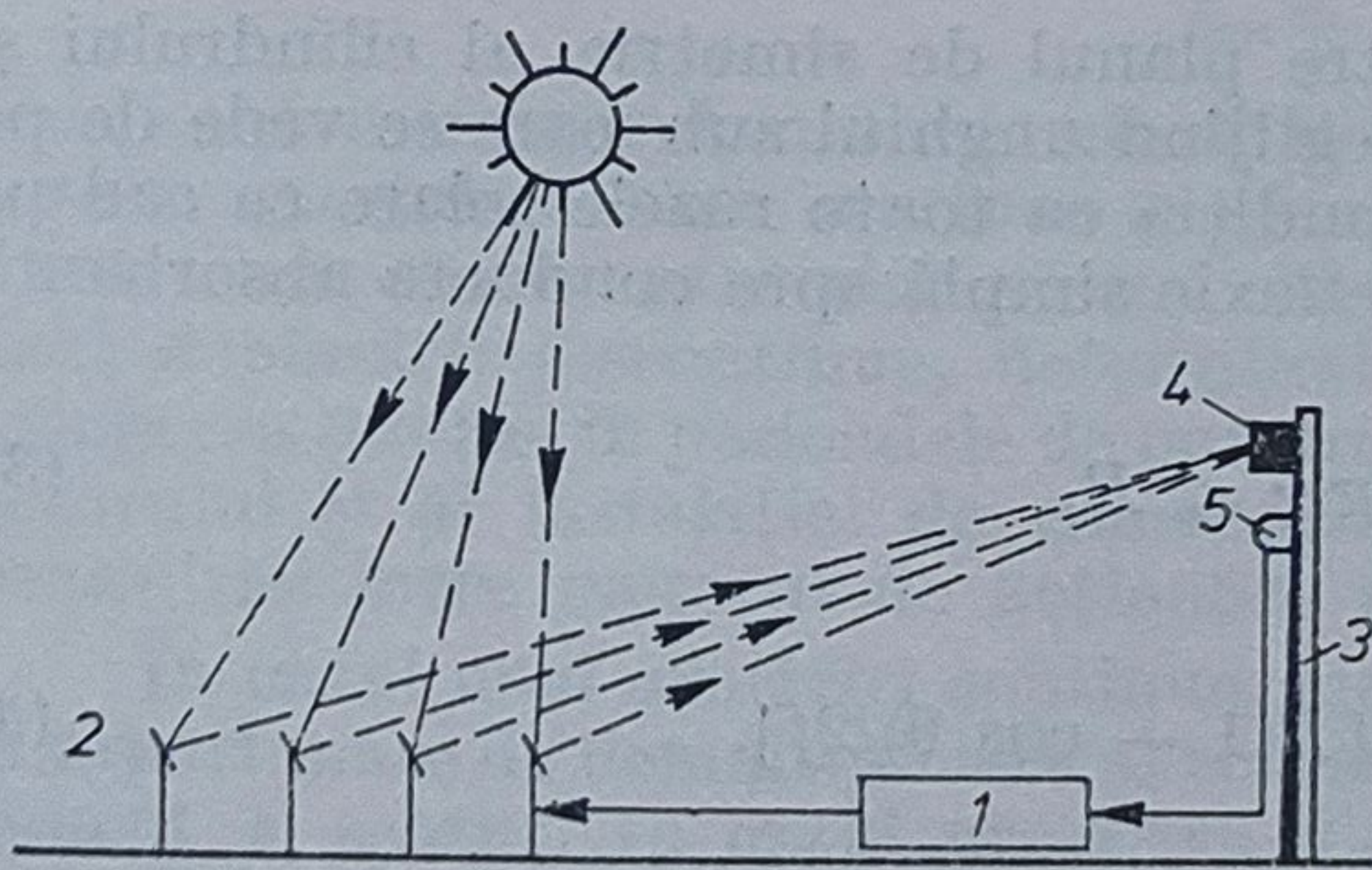


Fig. 4. — Sistemul de acționare a unui câmp mare de heliostate :

1 — calculator central ; 2 — heliostat ; 3 — turn ; 4 — receptor ; 5 — senzori de calibrare.

dau informații calculatorului central referitoare la starea heliostatelor. Pe baza acestor informații, calculatorul ia deciziile care se impun.

Avantajele unui astfel de sistem sînt legate de capacitatea calculatorului de a asigura funcțiuni de comandă mult mai complexe și de a



diagnostica situațiile anormale precum și de economiile rezultate din: întreținere mai eficientă; avarii mai reduse cauzate de condițiile meteorologice; minimizare a echipamentului de pe fiecare heliostat; urmărire mai eficientă a Soarelui, mai ales în perioadele de înnorări intermitente.

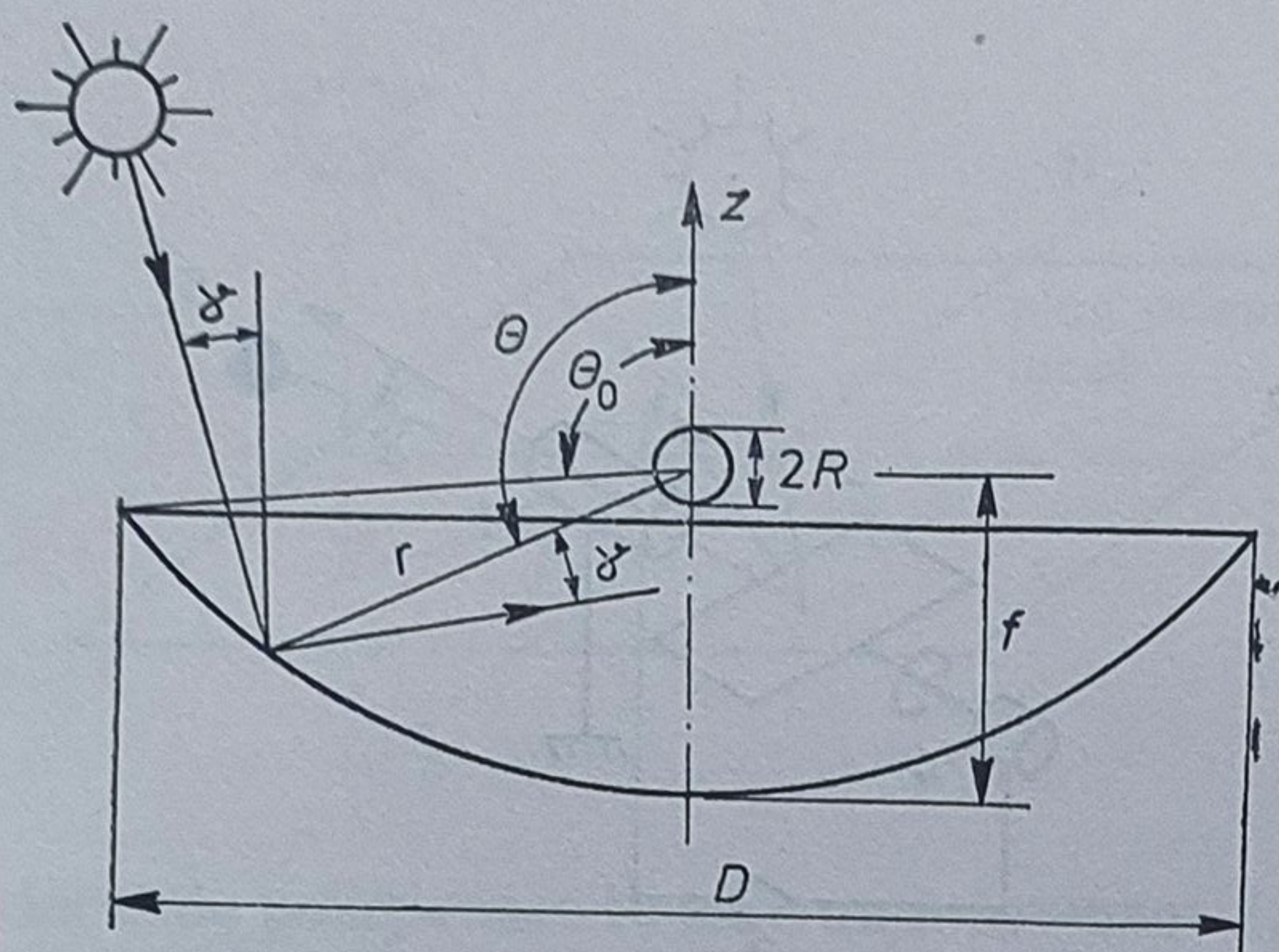


Fig. 5. — Modelul unei oglinzi cilindro-parabolice cu receptor conductă circulară în focar.

Precizia necesară pentru urmărirea Soarelui — în toate sistemele prezentate — este impusă, în ultimă instanță, de performanțele pe care trebuie să le realizeze o instalație solară dată.

Pentru exemplificare, fie un concentrator cilindro-parabolic de deschidere  $D$  și distanță focală  $f$ , în focarul căruia se află un receptor de rază  $R$  (fig. 5). Ecuația parabolei directoare a cilindrului, în coordonate polare, luând originea coordonatelor în focar este

$$r = 2f/(1 - \cos \theta). \quad (2)$$

Considerînd că unghiul dintre planul de simetrie al cilindrului și direcția razei de Soare este  $\gamma$  și neglijînd unghiul sub care se vede de pe Pămînt discul solar (circa  $32'$ ), condiția ca toate razele solare ce cad pe oglindă să fie reflectate printr-o reflexie simplă spre conducta absorbantă este

$$r \operatorname{tg} \gamma \leq R, \quad (3)$$

deci

$$\gamma \leq \operatorname{arc} \operatorname{tg} [R(1 - \cos \theta)/2f]. \quad (4)$$

Prin urmare, dacă unghiul  $\gamma$  se află în domeniul

$$-\gamma_c < \gamma < +\gamma_c, \quad (5)$$

unde

$$\gamma_c = \operatorname{arc} \operatorname{tg} [R(1 - \cos \theta_0)/2f], \quad (6)$$



iar  $\theta_0$  este semideschiderea unghiulară a oglinzii, cantitatea de energie radiantă  $Q$  transmisă de Soare conductei absorbante este egală cu cantitatea de energie radiantă  $Q_0$  transmisă pentru  $\gamma = 0$  (cînd axa parabolei este îndreptată exact spre Soare).

Desigur, pentru o instalație solară în care se cere obținerea unei temperaturi ridicate pe raza receptorului — pentru o oglindă dată — trebuie să fie mică. Ca atare, eroarea admisă este mică și deci urmărirea trebuie să aibă o precizie corespunzătoare.

Rezultatul de mai sus permite însă să se tragă concluzia că, în principiu, se poate recurge și la o urmărire discontinuă a Soarelui, cu incremente unghiulare, de aproximativ  $2\gamma_c$ . De exemplu, în instalația solară realizată în cadrul Catedrei de termodinamică și mașini termice din Institutul politehnic București [2], în care urmează să se asigure încălzirea apei la o temperatură maximă de ordinul a  $300^\circ\text{C}$ , oglinzile cilindro-parabolice utilizate au dimensiunile  $D = 4\text{ m}$ ,  $f = 1,7\text{ m}$  și  $\theta_0 = 119^\circ$ . Asimilînd într-o primă aproximație cavitația absorbantă a receptorului utilizat, de deschidere  $d = 12\text{ cm}$ , cu o conductă de rază  $R = d/2 = 6 \cdot 10^{-2}\text{ m}$ , se obține cu relația (6)  $\gamma_c = 1,5^\circ$ . Ținînd seama și de unghiul de  $32'$  sub care se vede discul solar, rezultă  $\gamma_c \approx 1^\circ$  — valoare confirmată și de măsurătorile experimentale. Deci, practic, urmărirea Soarelui se poate face discontinuu cu incremente de circa  $2^\circ$ , fără a altera performanțele instalației.

Rămîne, însă, să se stabilească dacă este mai avantajoasă o urmărire continuă sau una discontinuă, printre factorii importanți care trebuie luați în considerare aflîndu-se: complexitatea schemei de urmărire și consumul de energie necesar urmăririi.

Motoarele de acționare a oglinzilor pot fi motoare electrice de curent continuu sau de curent alternativ, motoare electrice pas cu pas, motoare electro-hidraulice sau electro-pneumatice. Energia electrică absorbită pentru acționare este dată de relația

$$E = \frac{k}{\eta_{mi} \eta_t} L, \quad (7)$$

în care:  $L$  este lucrul mecanic efectuat pentru învingerea forțelor rezistente în cazul deplasării continue a oglinzilor, pentru urmărirea Soarelui;  $k \geq 1$  — un factor care ține seama de majorarea energiei absorbite în cazul deplasării discontinue, determinată de energia consumată pentru învingerea inerției în perioadele de pornire a oglinzilor;  $\eta_{mi}$  — randamentul motorului și al instalației de comandă a motorului;  $\eta_t$  — randamentul transmisiei între motorul de acționare și oglindă.

În cazul unei urmăriri continue, cînd  $k = 1$ , este necesar, de regulă un raport mare de demultiplicare al transmisiei, ceea ce conduce la un randament  $\eta_t$  scăzut. În cazul urmăririi discontinue, viteza de deplasare a oglinzii poate fi mărită, deci raportul de demultiplicare poate fi scăzut apropiînd randamentul  $\eta_t$  de unitate; în schimb  $k > 1$ . Soluția finală pentru sistemul de orientare va trebui să corespundă, în general, unui minim al costului de construcție și de exploatare; în esență — unui minim al costului instalației de orientare și al energiei  $E$  consumate pentru acționarea acesteia.



În concluzie, orientarea concentratoarelor solare constituie una dintre problemele căreia trebuie să i se acorde o atenție deosebită, mai ales în perspectiva realizării unor instalații solare de mare putere, cu performanțe ridicate.

### Bibliografie

1. CARDEN, P. O., *Steering a field of mirrors using a shared computer-based controller*, ISES Conference, Los Angeles, S.U.A., Iulie 1975.
2. DĂNESCU, A., PETRESCU, S., *Conversia energiei solare în energia mecanică prin ciclu termodinamic* (în prezentul volum).



# ASPECTE ȘI TENDINȚE ÎN CERCETAREA ȘI UTILIZAREA CAPTORILOR FOTOTERMICI CU APĂ ȘI AER

## 1. Introducere

Viorel BĂDESCU\*),  
Claudia OANCEA\*\*)

Conștientizarea în anul 1973 a unei posibile crize energetice a mărit brusc interesul față de posibilitatea utilizării energiei solare în domeniul casnic și industrial. Pe fondul intensificării cercetărilor în țările cu tradiție în această direcție (Franța, S.U.A.) asistăm la activizarea a numeroase centre în toate părțile lumii. Indiferent dacă elementul declanșator a fost abundența disponibilităților de energie solară (India, Australia etc.) sau dependența de resursele energetice externe (Japonia, R.F.G., Danemarca etc.) majoritatea covârșitoare a investițiilor se încadrează în problematica conversiei energiei radiației solare în energie termică.

Astăzi se poate afirma că problematica citată dispune de o soluție aproape unanim acceptată (captatorul fototermic), cu toate acestea ea rămânând încă deschisă prin numeroase posibilități practice de realizare. „Noutatea” problemei și vastul câmp liber de manevră sînt astfel cauzele aparentei eterogenități a structurii literaturii consacrate captorilor fototermici.

În dorința conturării unor idei călăuzitoare în activitatea de cercetare, am efectuat un studiu statistic asupra principalelor tendințe existente în domeniul captorilor fototermici și în aplicațiile acestora. Au fost astfel catalogate 1965 titluri [1, 2, 3], în special rezultate ale cercetărilor din țări cu tradiție în domeniu. Considerăm însă că rezultatele studiului sînt folositoare și în țara noastră, preocupările românești încadrându-se pe aceeași direcție.

Aspects and trends in the research  
and use of photothermal solar  
devices with water or air

This is a survey of the recent literature concerning theoretical and applied features of photothermal solar devices which use water or air as thermal agent. Particular stress is laid on economic aspect for choosing appropriate equipments.

\*) Intreprinderea „Viscofil”.

\*\*) Institutul politehnic București.



## 2. Metodica obținerii rezultatelor

Este de menționat că literatura consultată nu a fost exhaustivă, numărul mare de lucrări catalogate constituie din punct de vedere statistic o selecție ce permite obținerea de concluzii corecte asupra aspectelor studiate.

Raportul proporțional dintre interesul acordat problemei și eforturile științifice și economice îndreptate în vederea soluționării ei, a constituit elementul de bază în stabilirea tendințelor. Metoda de lucru a cuprins două etape: (1) prin raportarea numărului de lucrări cu o anumită temă la numărul disponibil de lucrări publicate anual s-a obținut ponderea problemei în contextul general al studiului folosirii energiei solare; (2) prin raportarea acestei ponderi la ponderea unui an considerat de bază s-au obținut diagrame care indică evoluția interesului față de respectivul subiect pe o perioadă de timp.

În interpretarea acestor diagrame ne-am servit de un raționament inspirat dintr-o constatare unanim recunoscută. Astfel, raportul cauză-efect dintre eforturile depuse pentru îmbunătățirea randamentului unui aparat și rezultatele obținute nu este liniar, existînd un domeniu în care pentru o mică creștere a randamentului sînt necesare mari eforturi. Ca atare, constatarea diminuării eforturilor echivalează cu concluzia atingerii randamentului maxim realizabil în condițiile tehnologiilor existente, încercările de depășire ale acestuia nefiind rentabile. La nivelul studiului statistic întreprins, aceasta înseamnă că rezultatele obținute de majoritatea cercetătorilor în anii anteriori scăderii interesului pot fi considerate ca fiind cele mai avantajoase din punct de vedere tehnico-economic, pentru aceea perioadă.

Prin urmare, consultarea literaturii din anii respectivi poate constitui un prețios ajutor atît pentru cercetare, cît și pentru considerarea rezultatelor proprii în contextul situației mondiale.

## 3. Concluziile studiului

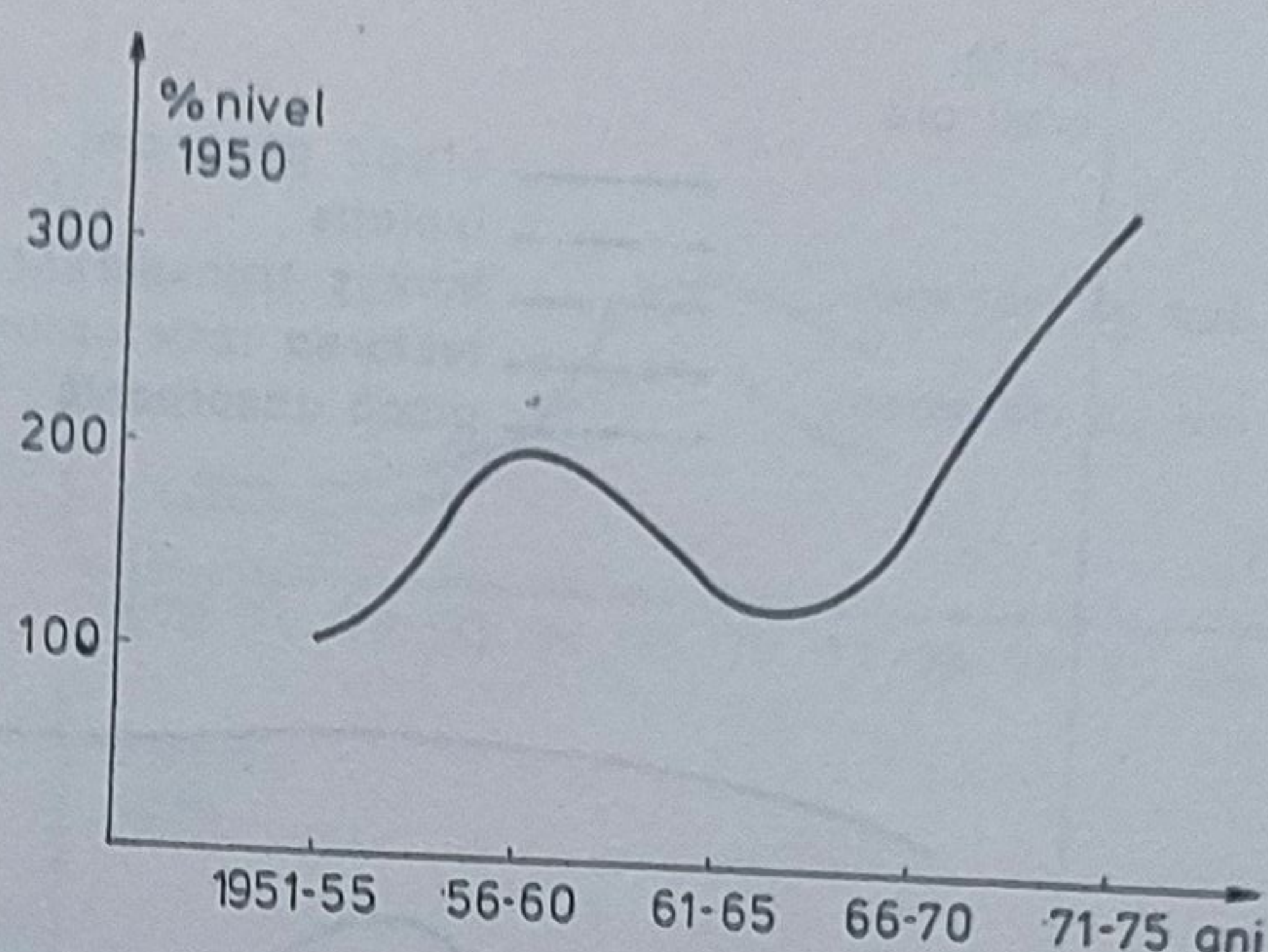
Interesul pentru studiul și folosirea energiei solare s-a manifestat cu decenii în urmă într-un mod constant, dar scăzut. O primă perioadă de activizare a studiului este semnalată în S.U.A. anilor 1951—55 (fig. 1) corelată cu o intensificare de mai mică amploare a aplicațiilor în procese de încălzire și răcire (fig. 2.). Aceeași perioadă 1951—55 se caracterizează însă și prin instituirea petrolului drept „prim” combustibil clasic, fapt care are repercusiuni întîrziate asupra interesului atît față de studiul folosirii energiei solare, dar în special față de aplicațiile acesteia (fig. 1 și 2). Perioada cea mai spectaculoasă este însă cea de după 1970, cînd interesul față de aplicațiile practice devansează dezvoltarea studiului științific.

În domeniul captatorilor fototermici cu apă sau aer principalele elemente care au stat întotdeauna în atenția cercetărilor au fost: suprafața transparentă, suprafața absorbantă, suprafața de schimb termic către agentul de lucru (apă sau aer), izolația. Avînd în vedere faptul că în țara noastră preocuparea pentru utilizarea sistematică a energiei solare este



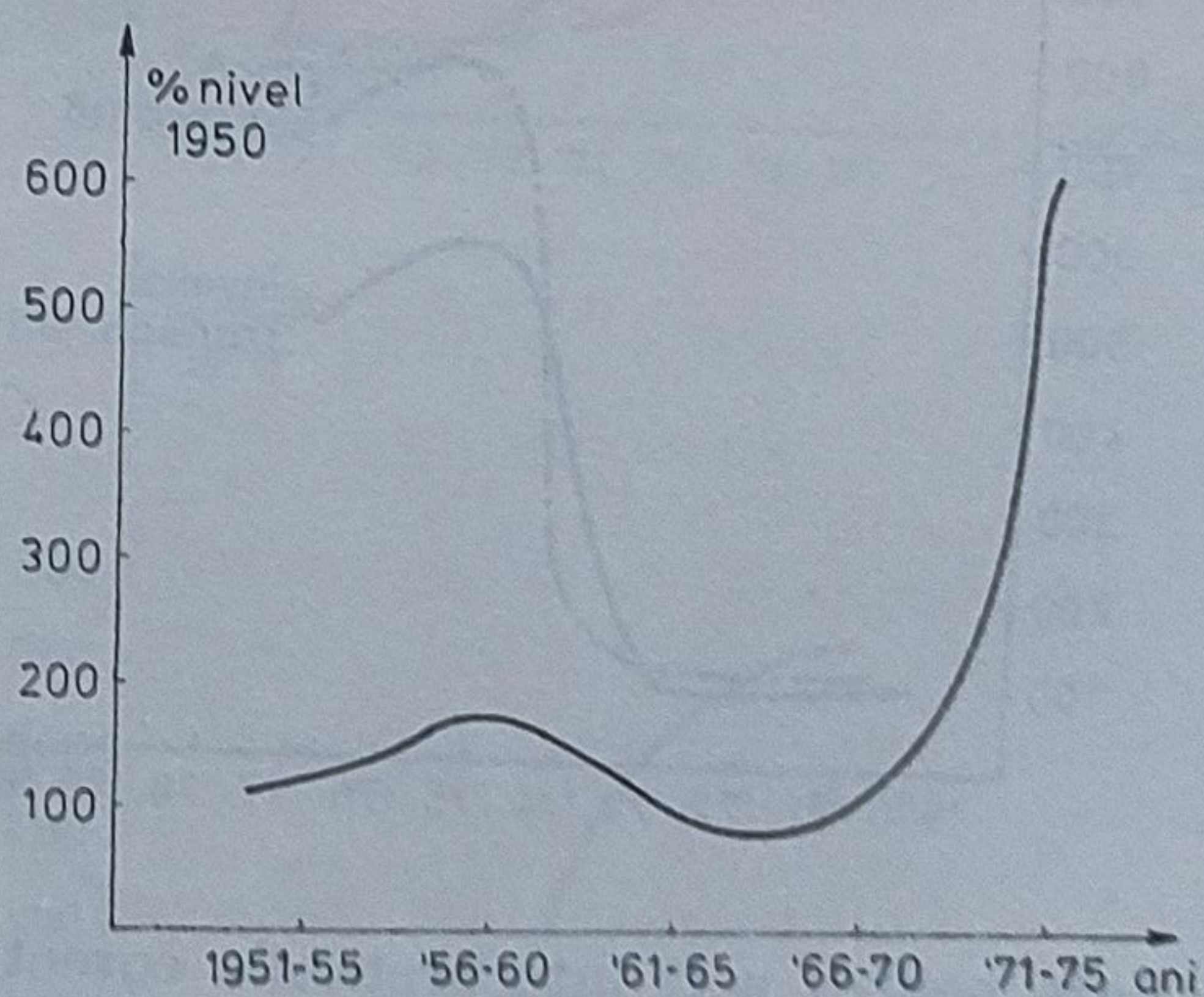
de o dată mai recentă, credem că este util a arăta cum a evoluat studiul acestor componente ale captorilor fototermici în ultimii 15 ani (fig. 3). Se observă astfel că mărirea randamentului s-a urmărit atât prin perfecționarea suprafeței transparente cât și a celei absorbante, fiecareia acordându-se prioritate într-o anumită fază a cercetărilor. În mod special se

Fig. 1. — Studiul folosirii energiei solare.



remarcă atenția acordată în perioada 1964—1970 suprafeței transparente prin studiul fenomenului de selectivitate (efect Francia, depuneri de straturi subțiri) și încercarea de noi materiale. Necesitatea evaluării studiilor întreprinse a determinat cercetarea de punere la punct a metodei de testare care începe să fie sistematizată începând din 1970. În ultimii ani interesul

Fig. 2. — Aplicațiile folosirii energiei solare în procese de încălzire și răcire.



s-a deplasat către studiul suprafeței absorbante (fig. 4), pe fondul unei diminuări relative a studiilor, explicabile prin rațiunile tehnico-economice expuse anterior. Același lucru se observă și în studiul suprafeței de schimb termic a captorilor fototermici cu apă; la captorii fototermici cu aer interesul se menține în ultimii ani relativ constant (fig. 5).



La nivelul aplicațiilor captorilor fototermici cu apă sau aer în stații pilot raportate, evoluția situației din ultimii ani este spectaculoasă (fig. 6). În 1978 se depășea nivelul anului 1970 de 16 ori (respectiv de 8 ori). Din cele trei domenii principale de aplicație (termo-tehnică, energetică, construcții) primele două nu ne-au putut oferi un număr suficient de mare

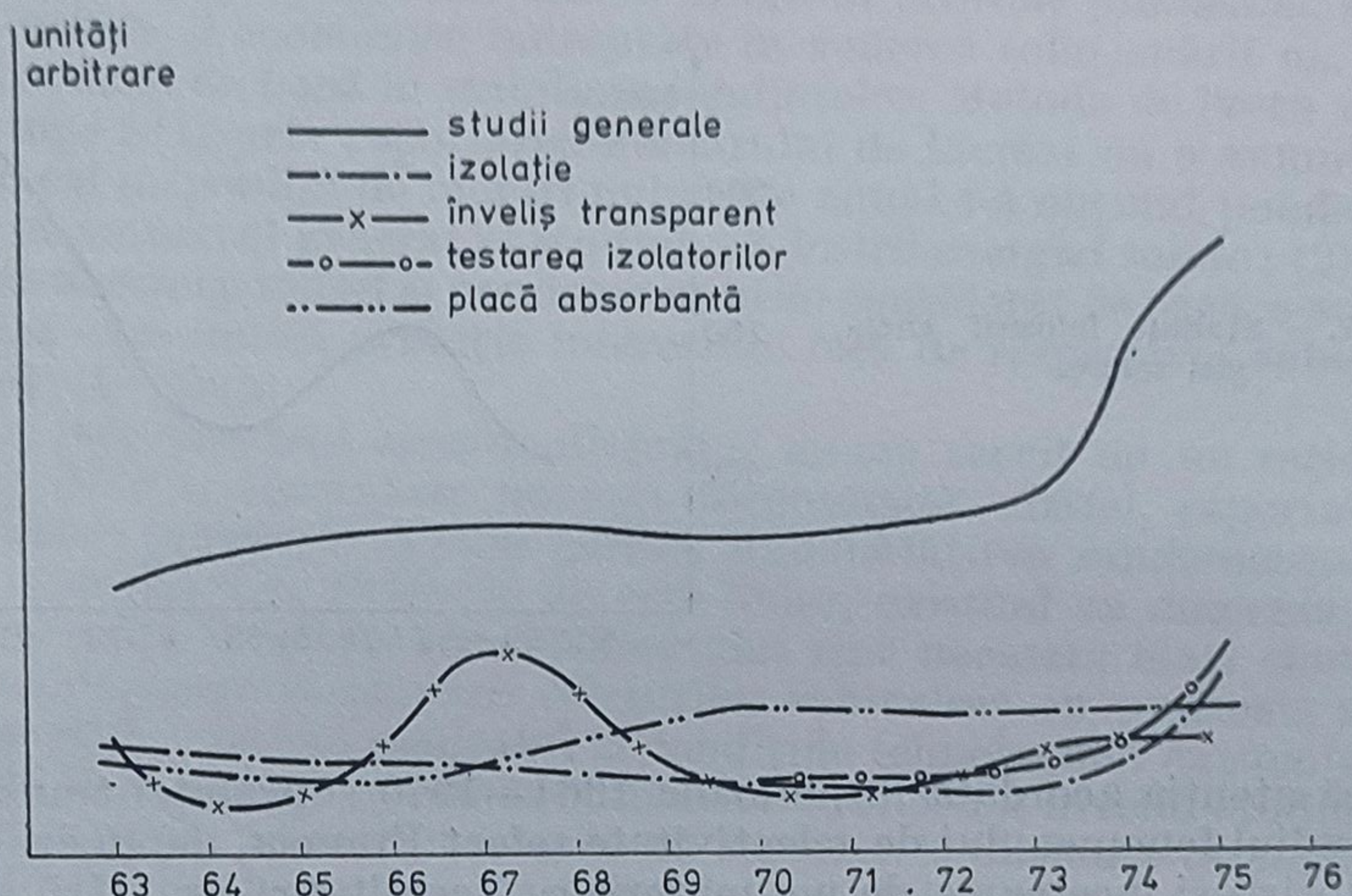


Fig. 3. — Studiul acordat principalelor părți componente ale insulatorilor.

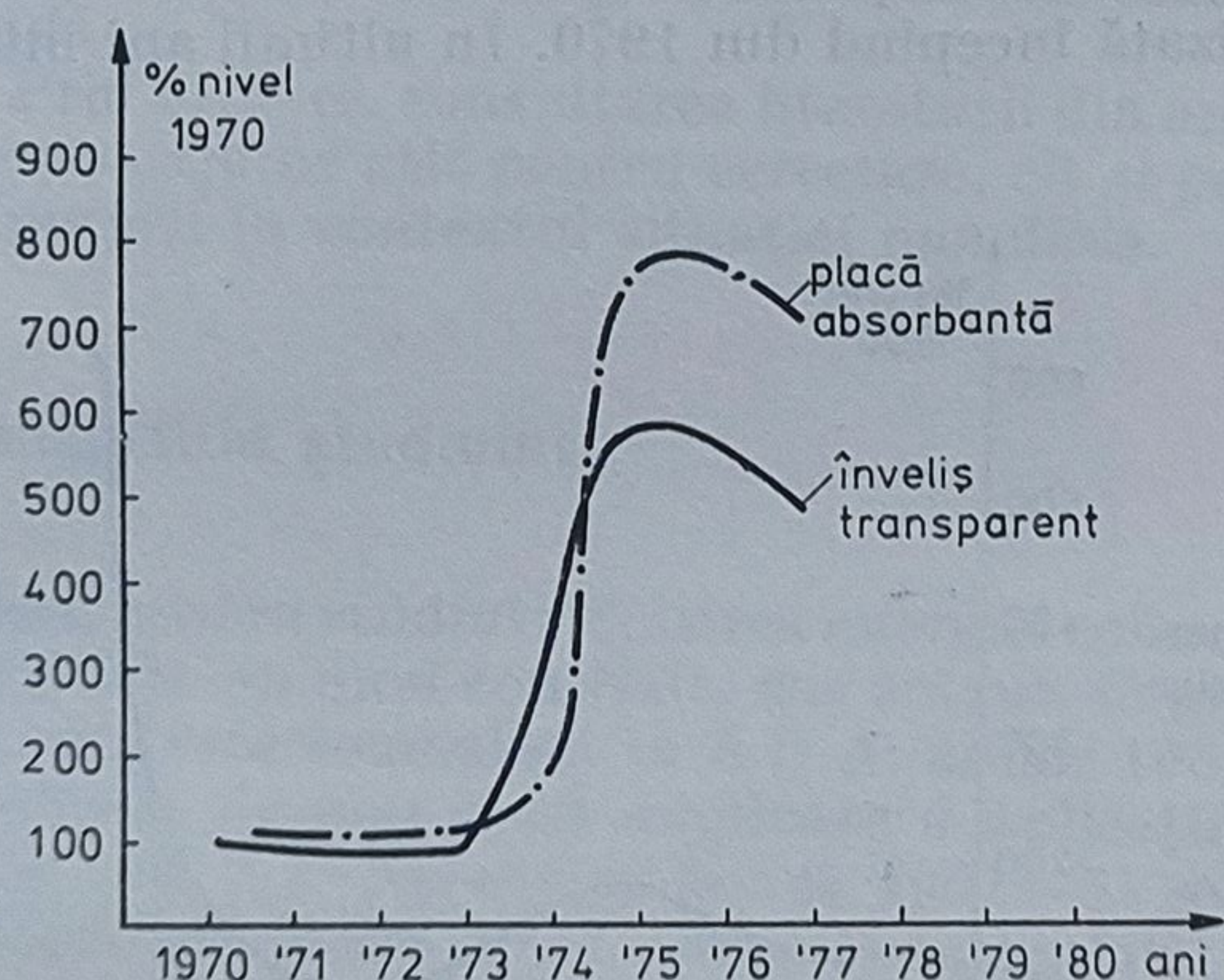


Fig. 4. — Studiul plăcii absorbante și a învelișului transparent.

de date pentru a fi interpretabile corect statistic. Aplicarea captorilor fototermici în construcții a cunoscut evoluția din figura 7. Ținând cont de cele afirmate la capitolul 2, plafonarea diagramei stațiilor pilot din figura 7 echivalează cu trecerea la producția de serie.

Completînd utilizarea captorilor fototermici în construcții, stocarea căldurii utile a cunoscut o mare dezvoltare (fig. 8). Evoluția studiilor asupra stocării căldurii sensibile și latente este indicată în figura 9. Micșorarea interesului față de studiul stocării căldurii sensibile indică trecerea către



Fig. 5. — Studiul suprafeței de schimb termic.

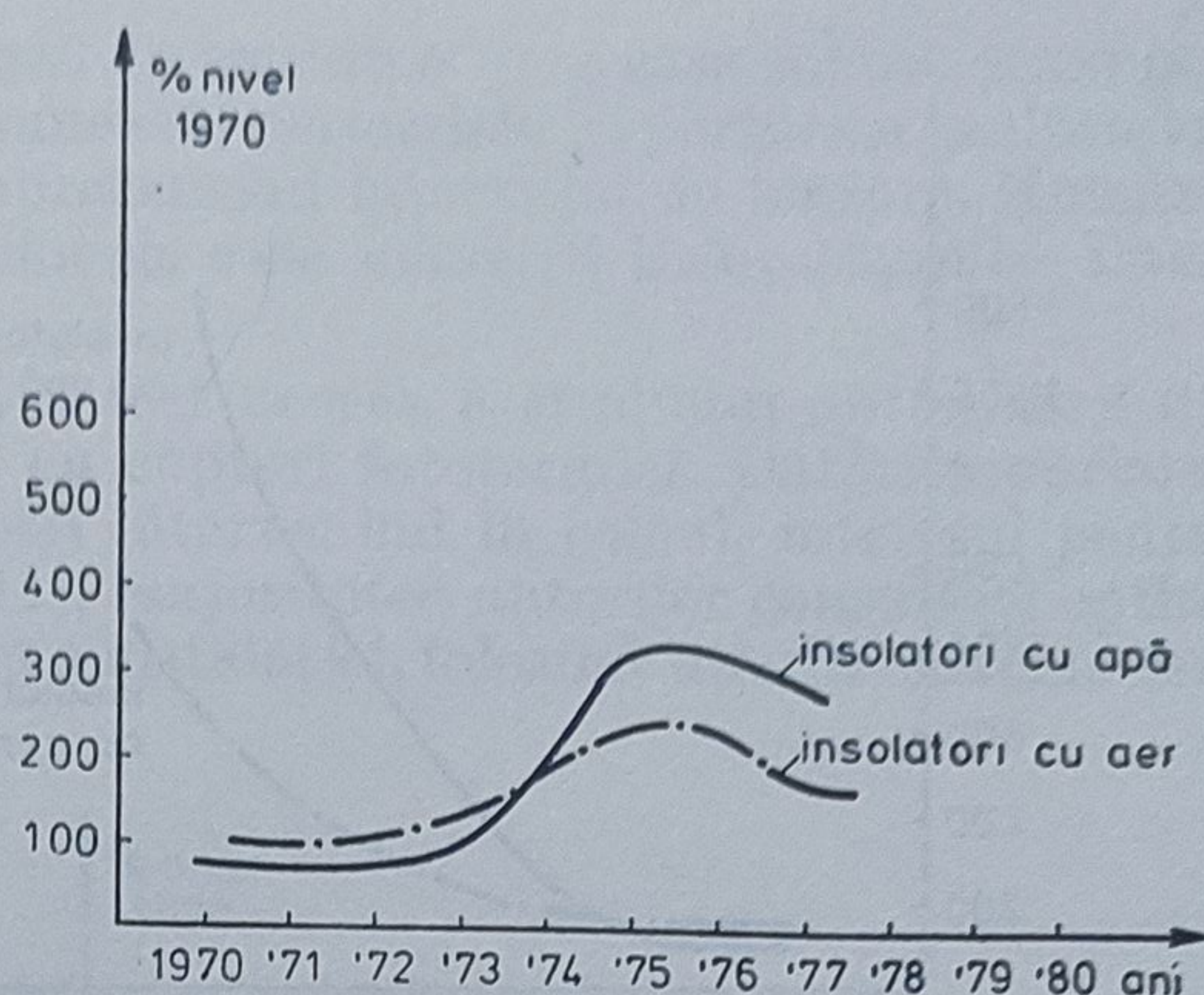


Fig. 6. — Aplicațiile insolatorilor.

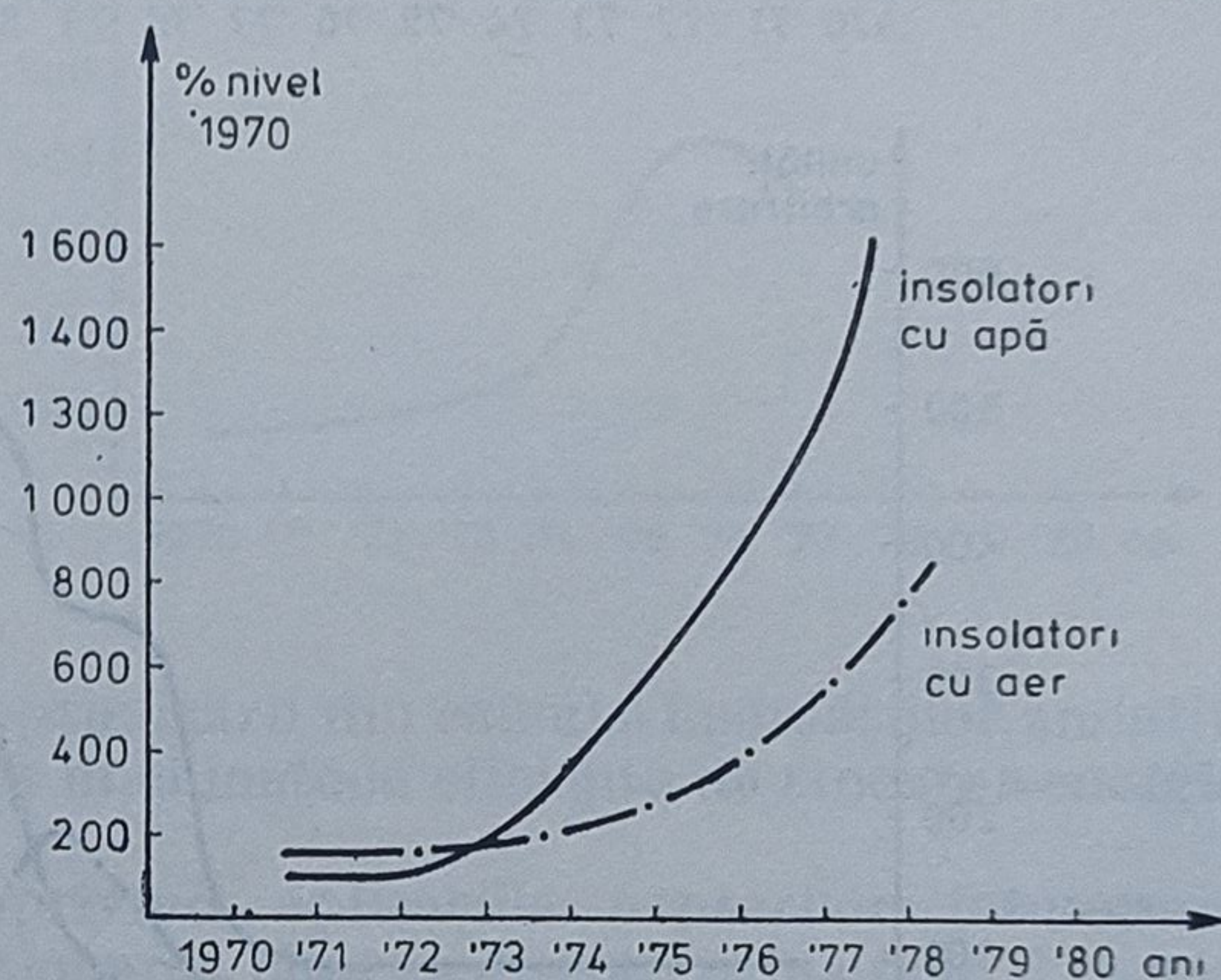
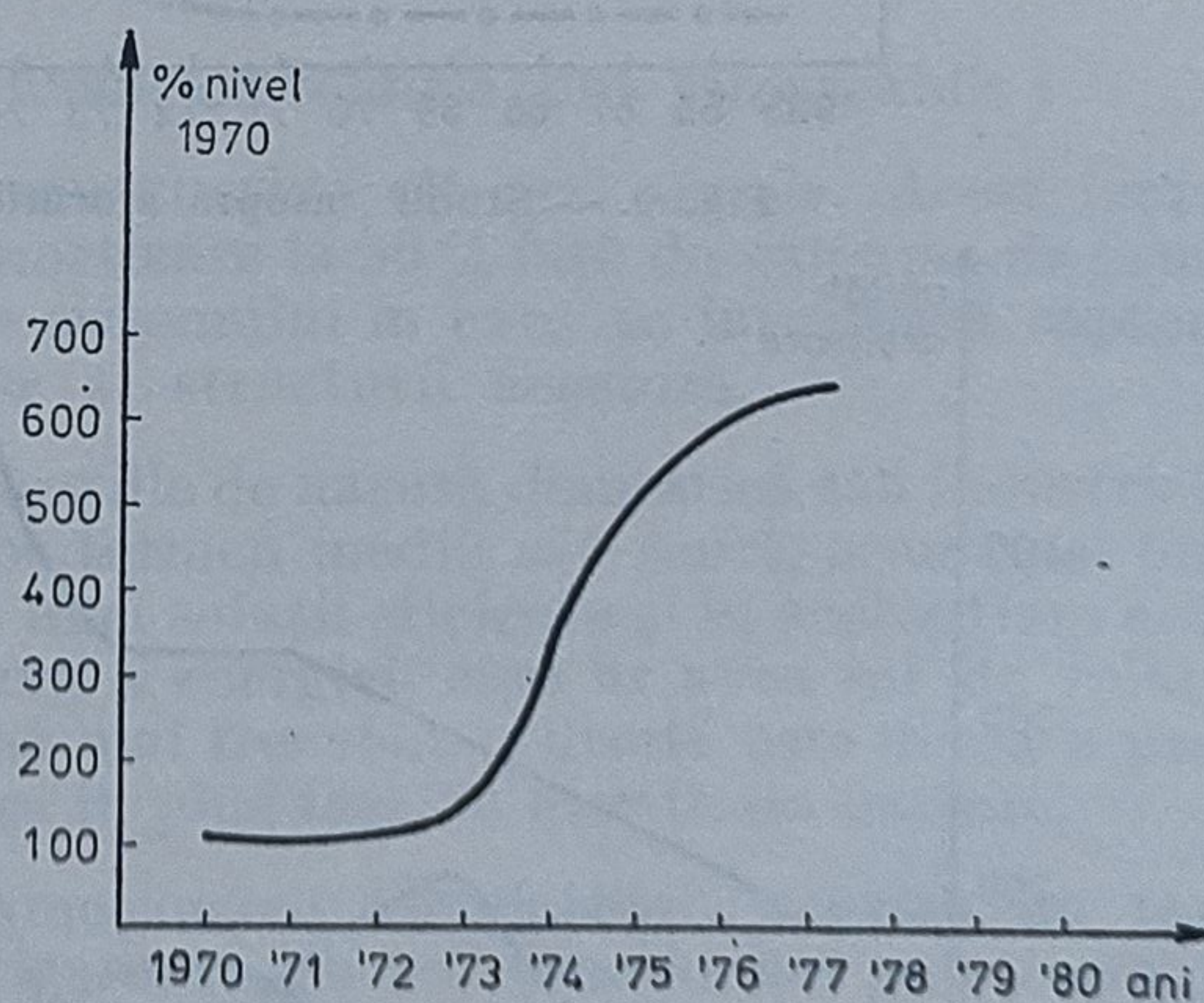


Fig. 7. — Aplicațiile insolatorilor în construcții.



aplicarea practică, soluțiile cele mai bune de stocare a căldurii latente nefiind încă atinse. Aplicarea stocării experimentale a căldurii în construcții cunoaște aspectul din figura 10; acest aspect însă estompează realitatea



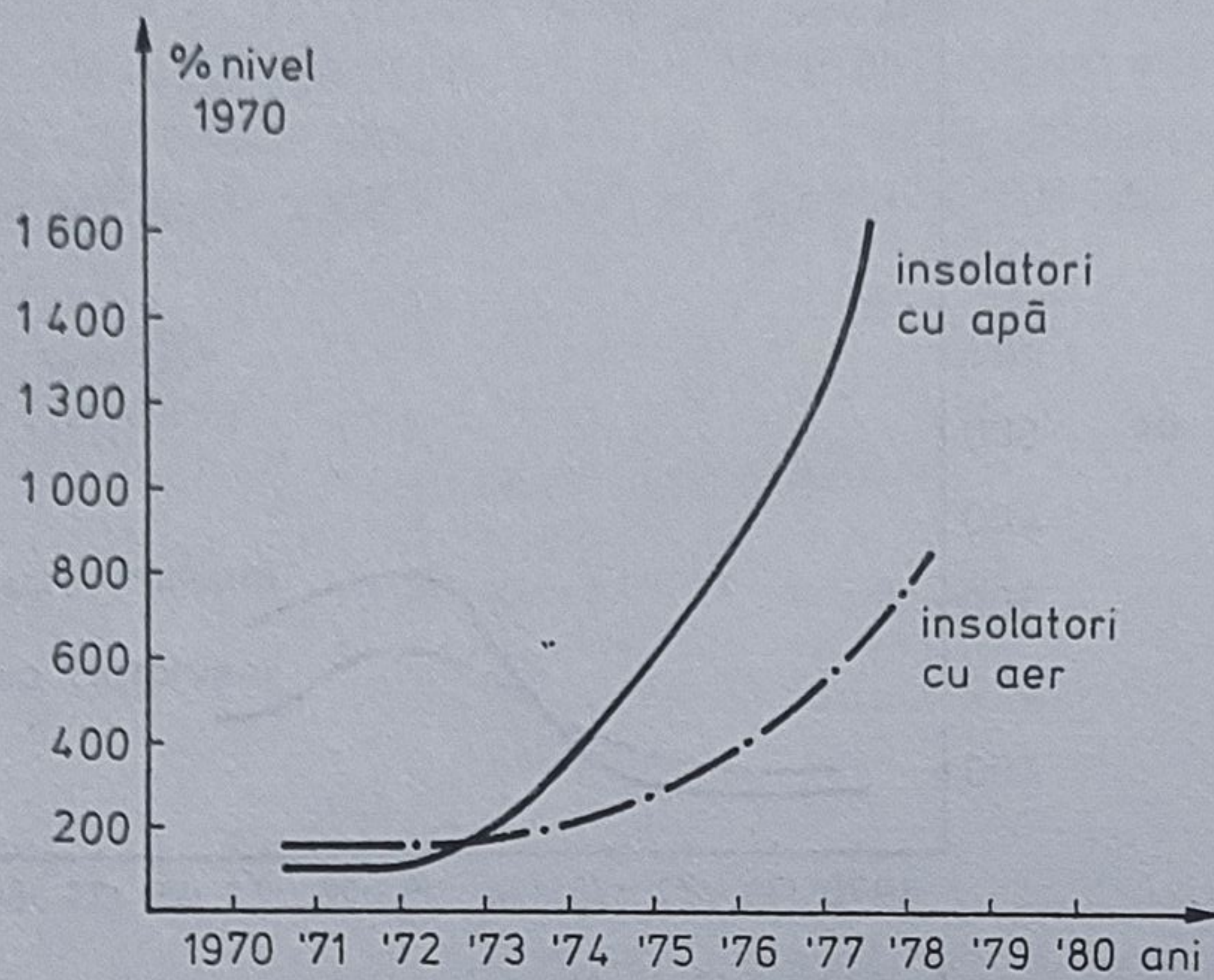


Fig. 8. - Stocarea energiei termice în instalații având insolatori cu apă sau aer.

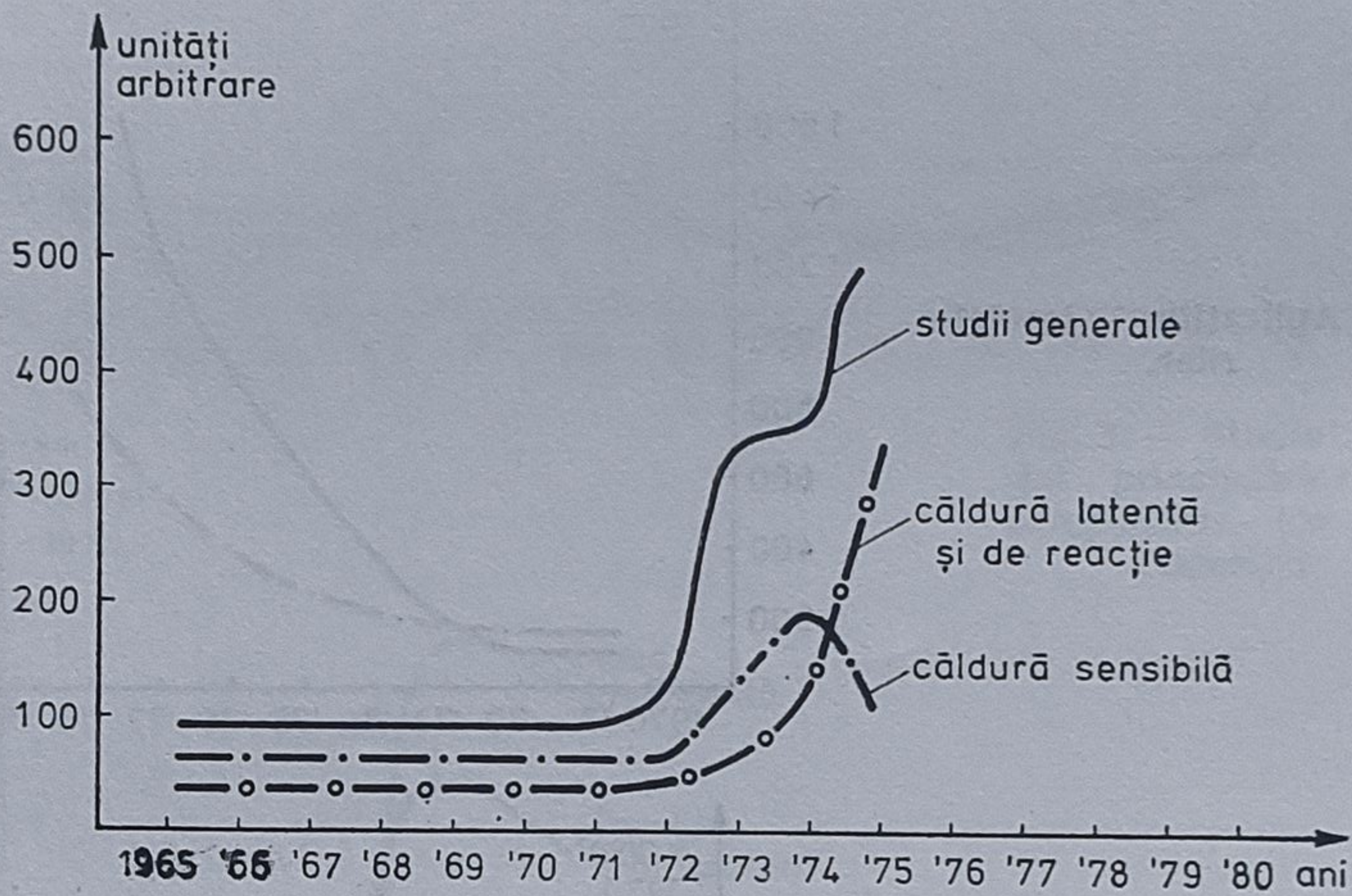


Fig. 9. - Studii asupra stocării energiei termice.

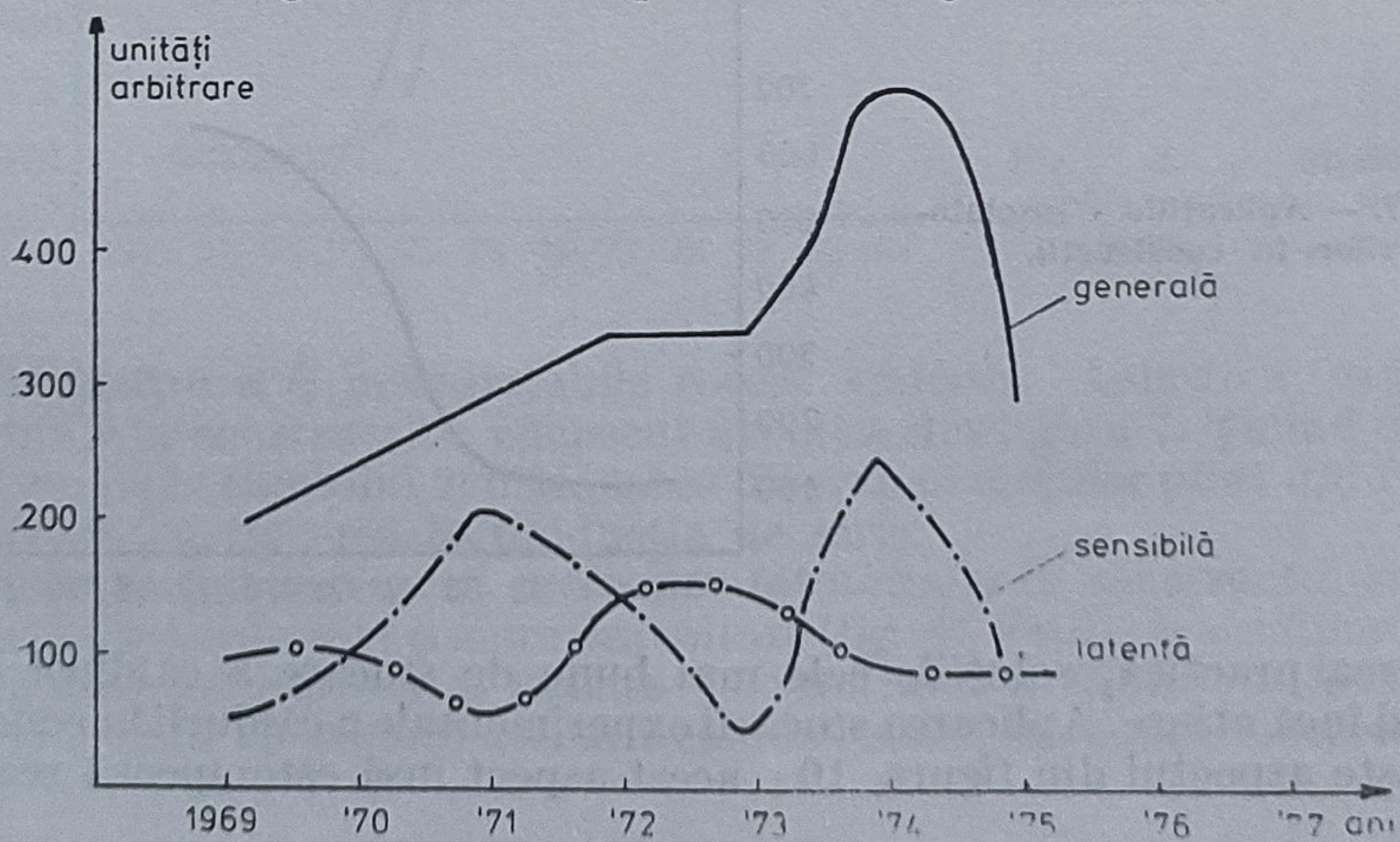


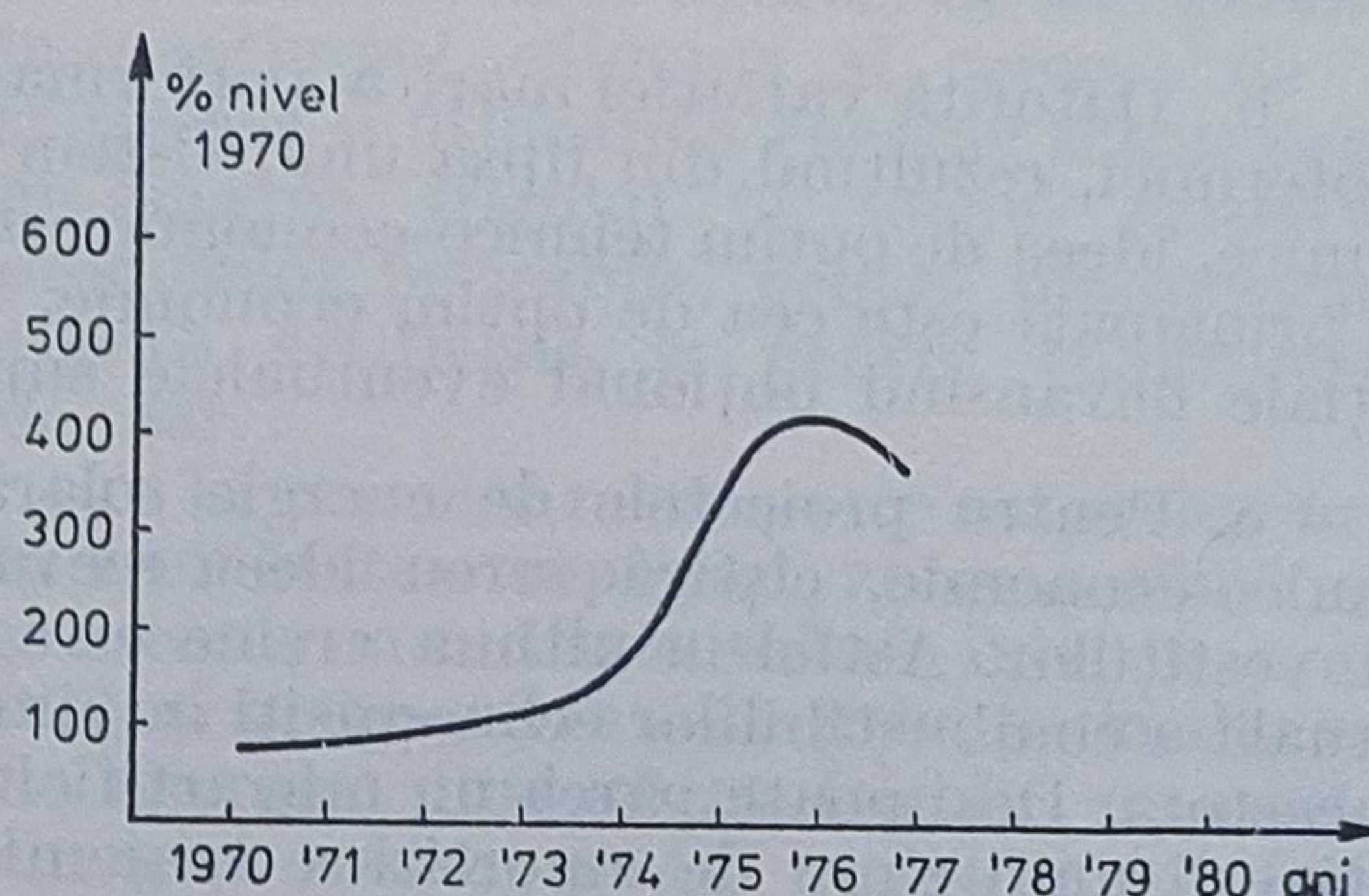
Fig. 10. - Aplicarea stocării energiei termice la case solare.



avînd în vedere timpul îndelungat de testare a unei case solare. Maximele diagramelor din figura 10 desemnează perioadele raportării rezultatelor, distanța între aceste maxime reprezentînd intervalul de textare. Numărul maximelor corespunde generațiilor de case solare (S.U.A., Japonia, Danemarca etc.).

O problemă des abordată a fost aceea a studiului optimizării din calcul a funcționării sistemelor cu captori fototermici. Datorită variației aleatoare a mai multor parametri intervenind în calcul, interesul pentru această problemă a slăbit (fig. 11), majoritatea autorilor consultați optînd pentru o autoreglare momentană a instalației, folosind diferite sisteme sen-

Fig. 11. — Optimizarea funcționării instalațiilor cu insolatori.



zoriale. Probabil că problema optimizării din calcul a instalațiilor amintite va fi reconsiderată după găsirea unei metode eficiente de stocare a energiei termice.

În încheierea studiului privind aplicațiile captorilor fototermici cu apă și cu aer se cuvine menționarea câtorva direcții principale de acțiune.

Astfel în soluționarea problemelor tehnice sînt remarcabile :

a. Tendința spre soluții constructive cît mai simple. Acest lucru, a dus la scăderea timpului de amortizare la 50 % față de valoarea de acum 20 ÷ 30 de ani. În general natura sistemului în care se integrează captorii dictează asupra caracteristicilor și structurii acestora.

b. În ultimii ani, toate aplicațiile de natură domestică sau industrială au avut elemente de stocare, pe termen mediu sau scurt, a energiei termice. Mai precis, pînă la găsirea unei soluții eficiente și în acelaș timp economice de stocare pe termen lung a energiei, care ar avea rol de volant termic al instalației, varianta cea mai frecvent utilizată este aceea a prelungirii funcționării cu cîteva ore în plus față de durata de însorire.

c. Pentru regularizarea funcționării instalațiilor, acestea au fost dotate cu aparatură de automatizare, în general funcționînd pe principiul buclei închise printr-un element senzorial.

d. Majoritatea cercetărilor urmăresc, în vederea măririi randamentului instalației, micșorarea numărului de schimburi termice. Astfel, insta-



lațiile care sînt construite pentru producerea de aer cald funcționează, în general, de la început cu aer drept fluid de lucru. Excepție fac de la acest lucru casele solare, care necesită atît apă caldă, cît și aer cald. Cea mai mare parte a caselor solare folosesc captori fototermici cu apă.

Sub aspect economic se conturează următoarele tendințe :

a. Micșorarea prețului unitar prin mărirea producției. Un studiu al GREEN (Grupul de cercetări asupra energiilor noi din Franța) [1] arată că la trecerea de la producția de prototip la cea industrială prețul pe  $m^2$  de captor fototermic a scăzut cu 30 %, iar prin adaptarea unor radiatoare obișnuite la necesitățile captării fluxului luminos, prețul unitar a scăzut cu 66 %.

b. Datorită variației mari a performanțelor instalațiilor cu captori fototermici, rezultînd din lipsa unui sistem eficient de stocare a energiei termice, ideea de optim tehnico-economic este mai puțin vehiculată. Direcția principală este cea de optim economic, siguranța micșorării investiției inițiale devansînd obșional eventualele supracîștiguri de energie solară.

c. Pentru proiectele de energie solară aflate în studiul de studiu tehnico-economic, cîștigă teren ideea reevaluării timpilor de amortizare a investițiilor. Astfel în ultima vreme este înlocuită noțiunea de valoare actuală a combustibililor economisiți în viitor cu aceea de valoare viitoare a acestora. Deși poate părea un mic artificiu de calcul adoptat în vederea obținerii unui timp de amortizare mai mic, credem că acest fenomen reflectă just realitatea obiectivă.

d. În orice instalație cu captori fototermici, tehnica de lucru are două componente — heliotehnică și tehnică clasică, corespunzătoare instalației de captare și conversie a energiei solare respectiv părții de prelucrare a energiei captate. Deoarece partea de prelucrare a energiei captate este alcătuită în general din tehnică produsă în serie mare, nu putem spera la o micșorare a costului total decît acționînd asupra costului instalațiilor heliotehnice. În funcție de raportul costurilor celor două componente se poate determina gradul posibil de perfecționare al insolatorilor ce vor fi folosiți. La un cost mare al părții de tehnică clasică față de partea heliotehnică s-ar putea ca mărirea randamentului insolatorilor prin alocarea de fonduri suplimentare să nu determine o creștere substanțială a prețului întregii instalații.

### Bibliografie

1. \* \* \* *Commission of the european Communities*, Study contract N° 207—75—9 ECT DK, Copenhagen, 8 th February 1976.
2. \* \* \* *Colectia Complex*, anii 1966—1978.
3. \* \* \* *Colectia SOLAR ENERGY*, anii 1970—1978.



## INSTALAȚII FRIGORIFICE SOLARE

Marieta GRIGORIU\*)

Buna corelare între aportul de energie solară în anotimpul călduros și cererea de frig sugerează o utilizare a energiei solare pentru producerea frigului în scopul conservării produselor perisabile, pentru producerea de gheață artificială și pentru condiționarea de aer.

În cea mai mare parte a zonelor aride, în vecinătatea tropicelor, zone cu climă caldă și uscată, cu radiație solară intensă și regulată, și în special în zone private de alte surse de energie, producerea frigului cu ajutorul energiei solare poate prezenta un interes excepțional și chiar și pentru alte domenii de utilizare a frigului.

Într-un climat temperat, cea mai atractivă posibilitate de utilizare a energiei solare pentru producerea frigului este în domeniul climatizării, mai ales dacă se poate utiliza același captor de energie solară atât pentru condiționare în timpul verii, cât și pentru încălzire în timpul iernii.

Metodele de producere a frigului cu ajutorul energiei solare se pot clasifica, după tipul de conversie utilizat, în metode folosind procedee mecanice, termoelectrice și termice.

Este posibil de a produce frig prin procedee mecanice, transformând mai întâi energia solară în energie mecanică a unui motor solar, care să antreneze compresorul unei instalații frigorifice de tipul cu comprimare de vaporii (fig. 1) sau de tipul cu comprimare de aer (fig. 2). În primul caz (fig. 1), agentul motor, care se vaporizează (cu ajutorul energiei solare captată prin oglinda  $O$ ) în cazanul solar  $CS$ , se destinde în turbina motoare  $T$ , după care se condensează în condensatorul  $K_1$ , iar condensatul este retrimis prin pompa  $PS$  în cazanul solar.

### Solar refrigeration equipments

Solar energy has also a very bright future for refrigeration equipments. The author presents theoretical foundations and practical applications for solar refrigeration technology.

\*) Institutul politehnic București.



Turbina motoare  $T$  antrenează compresorul frigorific  $C$ , care comprimă vaporii de agent frigorific, ce sînt apoi condensați în condensatorul  $K$ , iar agentul frigorific lichid rezultat, după laminarea în ventilul de laminare  $L$ , se vaporizează în vaporizatorul  $V$ , preluînd cantitatea de căldură necesară pentru vaporizare de la mediul care trebuie răcit. În cel de al doilea caz (fig. 2), prin același ciclu motor — în care se produce energie mecanică în turbina motoare  $T$  utilizînd energia solară primită de

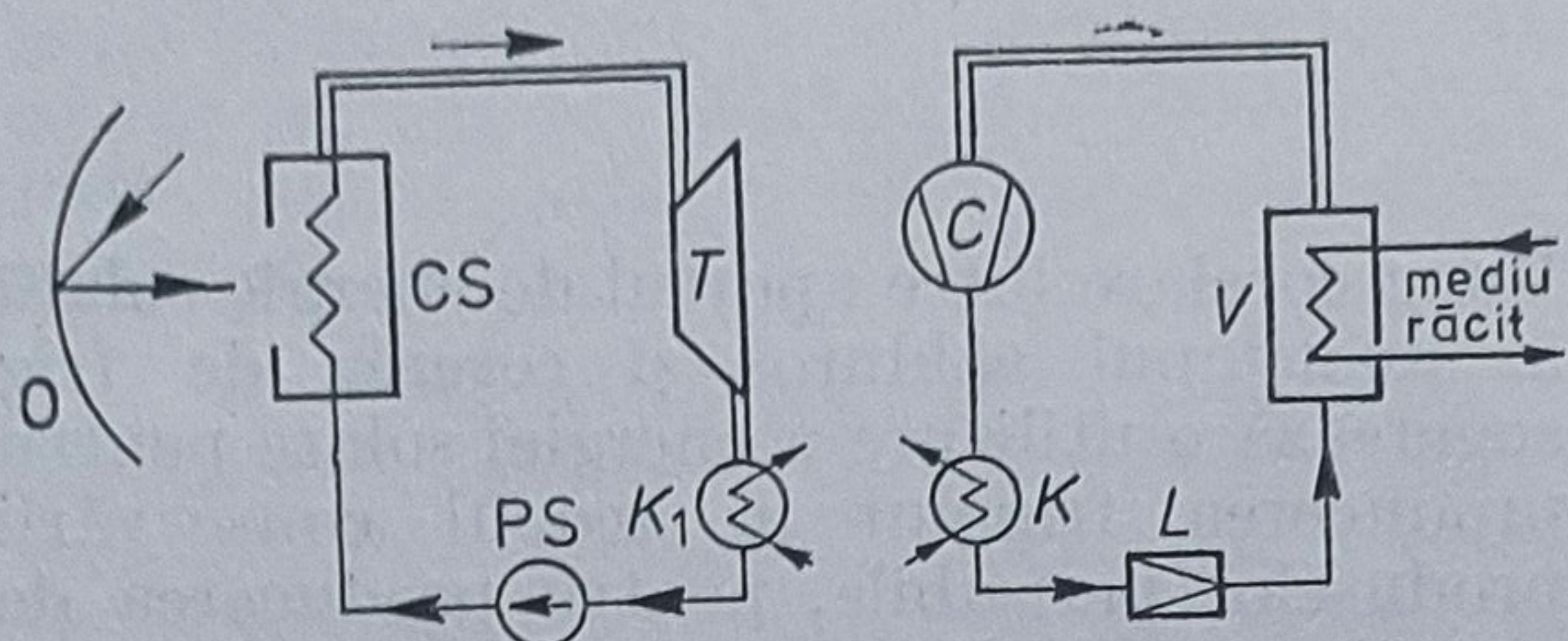


Fig. 1. — Instalație frigorifică solară cu comprimare de vaporii.

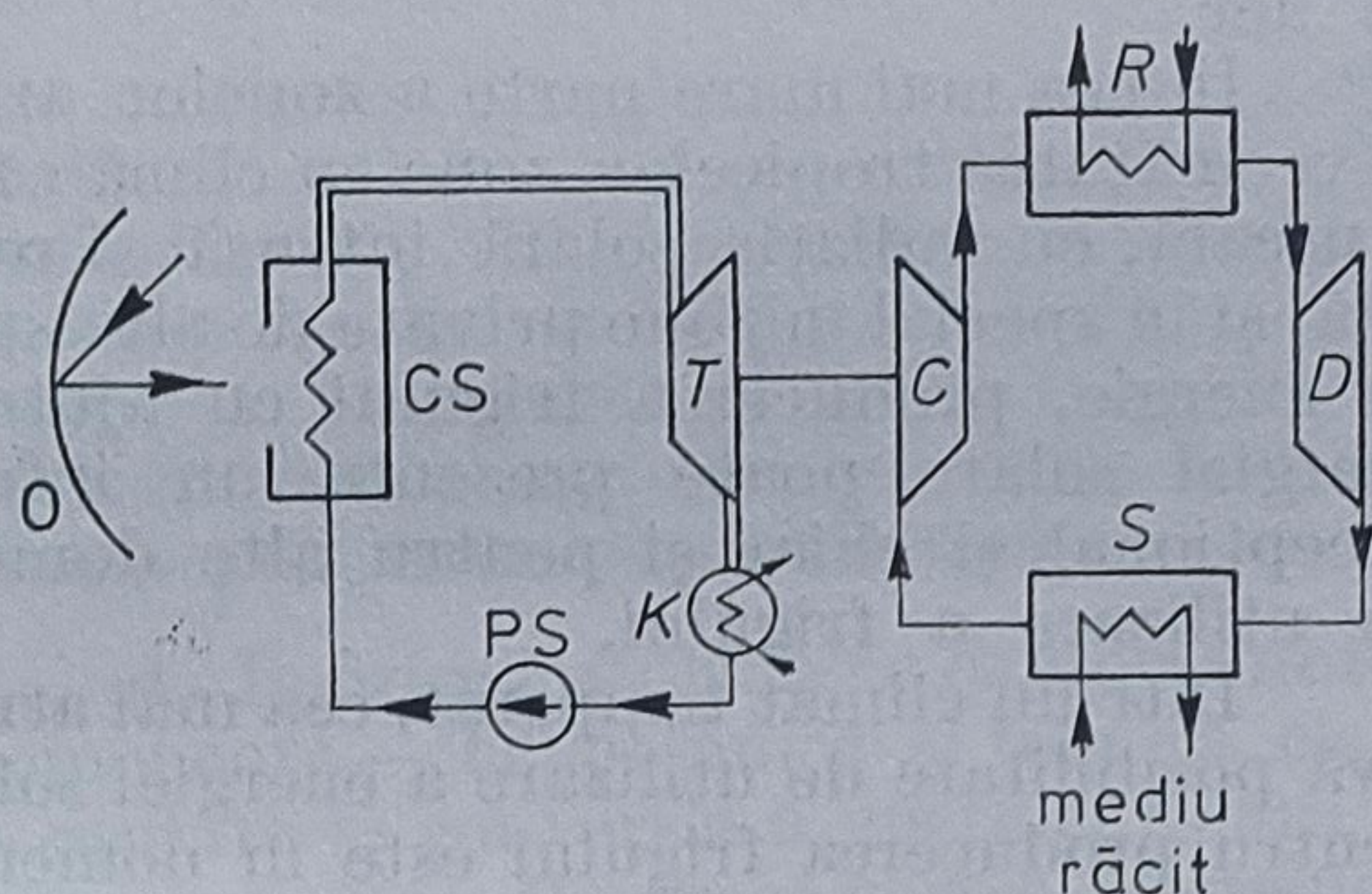


Fig. 2. — Instalație frigorifică solară cu comprimare de aer.

cazanul solar  $CS$  — turbina  $T$  antrenează compresorul  $C$ , care comprimă aer, ce este apoi răcit mai întâi cu ajutorul apei de răcire în răcitorul  $R$  și apoi răcit în continuare prin destinderea în detentorul  $D$ , astfel încît în schimbătorul de căldură  $S$  să poată prelua — la un nivel scăzut de temperatură — căldura de la mediul care trebuie răcit.

Utilizarea acestor scheme este limitată mai întâi prin problemele de transformare a energiei solare în energie mecanică; coeficientul de transformare a energiei solare prin motor solar putînd fi doar  $5 \div 6\%$  rezultă în final rapoarte totale de transformare similare cu cazul utilizării directe a energiei termice obținute în cazanul solar pentru producerea frigului. Pe de altă parte, instalațiile corespunzătoare acestor scheme sînt complicate și reprezintă o soluție dificilă de rezolvat actualmente și de aceea nu s-a aplicat pînă în prezent.

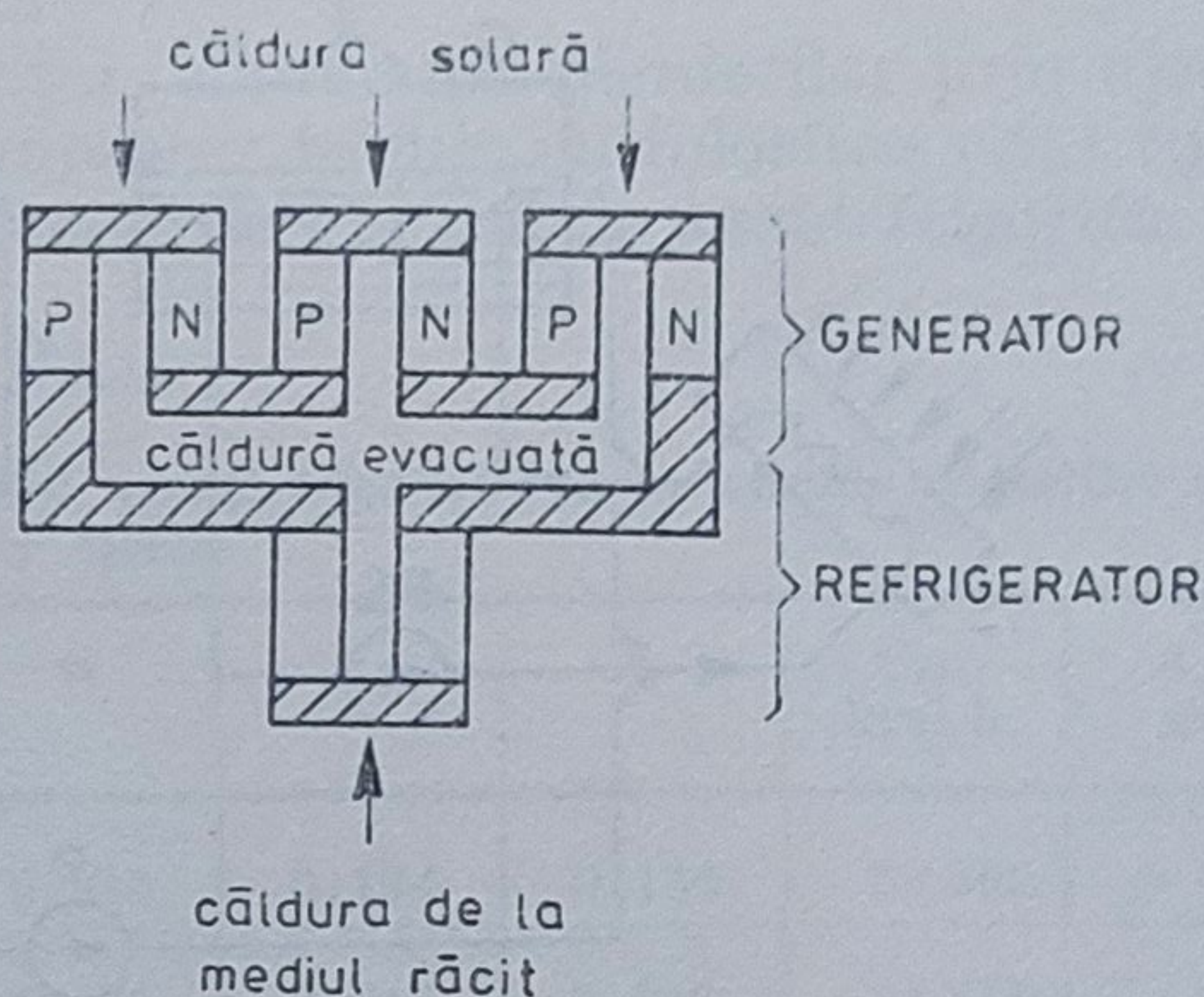
Este posibil de a produce frig prin procedee termoelectrice, utilizînd, în același agregat, principiul de producere a curentului electric din energia solară prin efect de termocuple și principiul de producere a frigului prin efect Peltier cu ajutorul curentului electric produs de partea de generator.

S-au realizat astfel de refrigeratoare termoelectrice; o publicație recentă [1] indică realizarea unei asemenea instalații în Australia, bazată



pe schema de principiu din figura 3. Generatorul termoelectric constă dintr-un mic număr de termocuple care produc în general o forță termoelectrică redusă dar care pot ușor să producă un curent mare. El are avantajul că poate lucra cu o sursă de căldură la nivel scăzut și este deci utilizabil pentru conversia energiei solare în energie electrică. Partea de

Fig. 3. — Instalație frigorifică solară cu semiconductori.



refrigerator termoelectric este de asemenea formată dintr-un mic număr de termocuple prin care circulă curentul produs de generator, combinația dintre cele două părți fiind compatibilă, cu utilizarea ca materiale termoelectrice de semiconductori pe bază de  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ .

Probleme mai dificile de rezolvat în cadrul acestui procedeu de producere a frigului sînt aceleași ca ale instalațiilor frigorifice bazate pe efect Peltier în general — materialele semiconductoare și puterea frigorifică redusă realizată —, la care se adaugă și problemele de producere a curentului electric de la energia solară în partea de generator.

Practic, utilizarea energiei solare pentru producerea frigului, la puteri frigorifice mai importante, se poate realiza pe baza schemelor în care energia consumată este sub formă termică, cum sînt instalațiile frigorifice funcționînd prin eiecție sau prin absorbție. Considerînd un captor plan, temperatura posibilă la care se furnizează ușor căldura solară este de  $75^\circ\text{C}$  iar pentru un captor cu concentrare, de tipul cilindro-parabolic, se poate adopta  $150^\circ\text{C}$ .

Instalațiile frigorifice cu eiecție sînt cele mai simple ca execuție și exploatare, neavînd elemente mobile (cu excepția pompei de condensat) iar ejectorul fiind un dispozitiv ușor de executat. La o instalație frigorifică solară cu eiecție, radiația solară poate fi utilizată direct sau prin intermediul unui fluid intermediar purtător de căldură pentru producerea de vapori de eiecție în generatorul de vapori  $G$  (fig. 4). ( $IS$  fiind captorul de radiație solară iar  $PS$  pompa pentru fluidul intermediar purtător de căldură). Vaporii de eiecție se destind în ajutorul de eiecție al ejectorului  $E$ , (mărindu-și energia cinetică) și antrenează vaporii reci proveniți din vaporizatorul  $V$ . Amestecul rezultat este comprimat în porțiunea de difuzor a ejectorului  $E$  și apoi vaporii sînt condensati în condensatorul  $K$  (prin răcire cu apă). Condensatul rezultat se împarte în două circuite: o parte este preluat de pompa  $P$  și retrimis la generatorul de vapori de eiecție  $G$



iar cealaltă parte trece prin ventilul de laminare  $L$  în vaporizatorul  $V$ , unde se vaporizează preluând căldura necesară pentru vaporizare de la mediul care trebuie răcit.

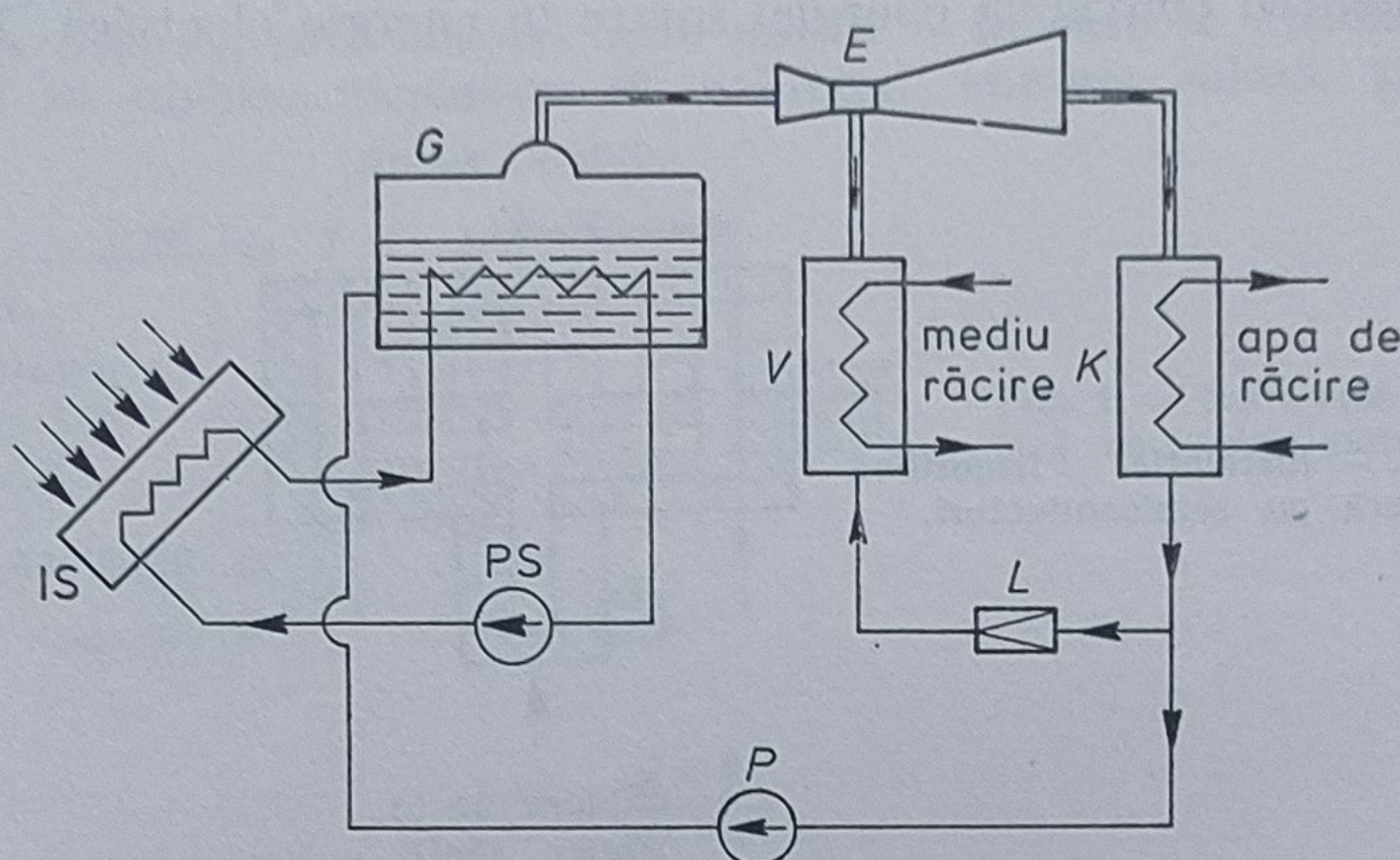


Fig. 4. — Instalație frigorifică solară cu eiecție.

Agentul frigorific ce poate fi utilizat într-o instalație frigorifică solară cu eiecție conduce la performanțe diferite după condițiile de funcționare. Pentru a compara comportarea diferiților agenți frigorifici se prezintă în tabela de mai jos rezultatele calculelor efectuate pentru unii agenți frigorifici mai accesibili la noi, tabelă în care, pentru fiecare agent frigorific analizat, s-au trecut valorile pentru:  $t_v$  — temperatura obținută în generatorul de vapor  $G$  (încălzit direct sau prin fluid intermediar de la energia solară în insolatorul  $IS$ ):  $75^\circ\text{C}$  în cazul captorilor plani,  $150^\circ$  în cazul captorilor cu concentrare;  $t_c$  — temperatura de condensare realizată în condensatorul  $K$ :  $37^\circ\text{C}$  în cazul răcirii în circuit închis (cu turn de răcire),  $30^\circ\text{C}$  în cazul în care se dispune de o sursă de apă rece suficientă în circuit deschis;  $p_v$  — presiunea în generatorul de vapor (presiunea maximă în instalație);  $p_0$  — presiunea în vaporizatorul  $V$  (presiunea minimă în instalație);  $\epsilon_t$  — eficiența frigorifică teoretică a ciclului instalației;  $\eta_{ej}$  — randamentul eiecției;  $\epsilon_r = \epsilon_t \cdot \eta_{ej}$  — eficiența frigorifică reală;  $Q_{sc}$  — cantitatea de căldură necesară a fi furnizată prin radiația solară în generatorul de vapor, pentru a realiza o putere frigorifică de 10 000 kcal/h;  $A_{sc}$  — suprafața necesară de captare, considerînd un flux de radiație solară de  $0,8 \text{ kW/m}^2$  și un randament al captorului de 0,5 (pentru a realiza o putere frigorifică de 10 000 kcal/h).

Analizînd valorile eficienței reale  $\epsilon_r$  prezentate în acest tabel rezultă ca competitivi agenții frigorifici: apa și freonii, dintre care cel mai bine se comportă freonul R 11. Apa și freonul R 11 au eficiența frigorifică reală comparabile, însă presiunile de lucru în instalație sînt foarte diferite. Astfel, pentru cazul utilizării captorilor plani ( $t_v = 75^\circ\text{C}$ ), instalația frigorifică cu eiecție de aburi lucrează total în depresiune (și  $p_0$  și  $p_v$  sînt mai mici decît presiunea atmosferică). Deci în cazul utilizării apei ca agent



frigorific sînt de rezolvat probleme de etanșeitate pentru a nu se produce pătrunderea aerului în instalație.

Deși sînt simple, instalațiile frigorifice solare cu eiecție nu sînt menționate ca realizări practice în literatura de specialitate ; aceasta se explică prin valorile scăzute ale randamentului de eiecție, ceea ce conduce la valori ale eficienței frigorifice reale mai scăzute decît în cazul utilizării instalațiilor frigorifice prin absorbție.

Pentru îmbunătățirea eficienței (eliminarea pierderilor prin eiecție) se poate utiliza o instalație cu compresor termic cu folosirea unui turbo-compresor în care turbina  $T$  acționată de vaporii de agent frigorific pro-

Tabela 1

Tabel comparativ privind utilizarea de diferiți agenți frigorifici la instalațiile frigorifice solare cu eiecție

Agent	$t_v$ , °C	$t_c$ , °C	$p_v$ , at	$p_0$ , at	$\epsilon_t$	$\eta_{ej}$	$\epsilon_r$	$Q_{sc}$ , kcal/h	$A_{sc}$ , m <sup>2</sup>
H <sub>2</sub> O	75	37	0,4	0,009	0,913	0,184	0,168	59 595	173
		30	0,4	0,009	1,471	0,217	0,319	31 376	91
	150	37	4,85	0,009	2,076	0,226	0,469	21 308	62
		30	4,85	0,009	2,887	0,223	0,645	15 499	45
R11	75	37	4,7	0,51	0,936	0,196	0,183	54 679	159
		30	4,7	0,51	1,947	0,226	0,440	22 721	66
	150	37	>8	0,51	1,708	0,226	0,386	23 199	67
		30	>8	0,51	3,121	0,216	0,675	14 806	43
R 12	75	37	22	3,6	0,894	0,191	0,170	58 691	171
		30	22	3,6	1,377	0,219	0,302	33 150	96
R 21	75	37	7,7	0,92	0,79	0,172	0,135	73 819	215
		30	7,7	0,92	1,162	0,209	0,242	41 264	120
Propan	75	37	28	5,5	0,496	0,078	0,039	257 732	750
		30	28	5,5	1,038	0,198	0,209	48 780	142
Butan	75	37	9	1,5	0,423	0,091	0,038	260 754	758
		30	9	1,5	0,666	0,170	0,113	88 176	256
CH <sub>3</sub> Cl	75	37	12	3,1	0,399	0,017	0,007	1 507 579	4 382
	150	37	12	3,1	0,426	0,091	0,039	257 840	750
NH <sub>3</sub>	75	37	22	5,3	nu este posibilă soluția				
	150	37	22	5,3	0,348	0,016	0,005	1 836 336	5 338



Fig. 5. — Instalație frigorifică solară cu compresor termic, utilizând un turbocompresor acționat de agentul frigorific

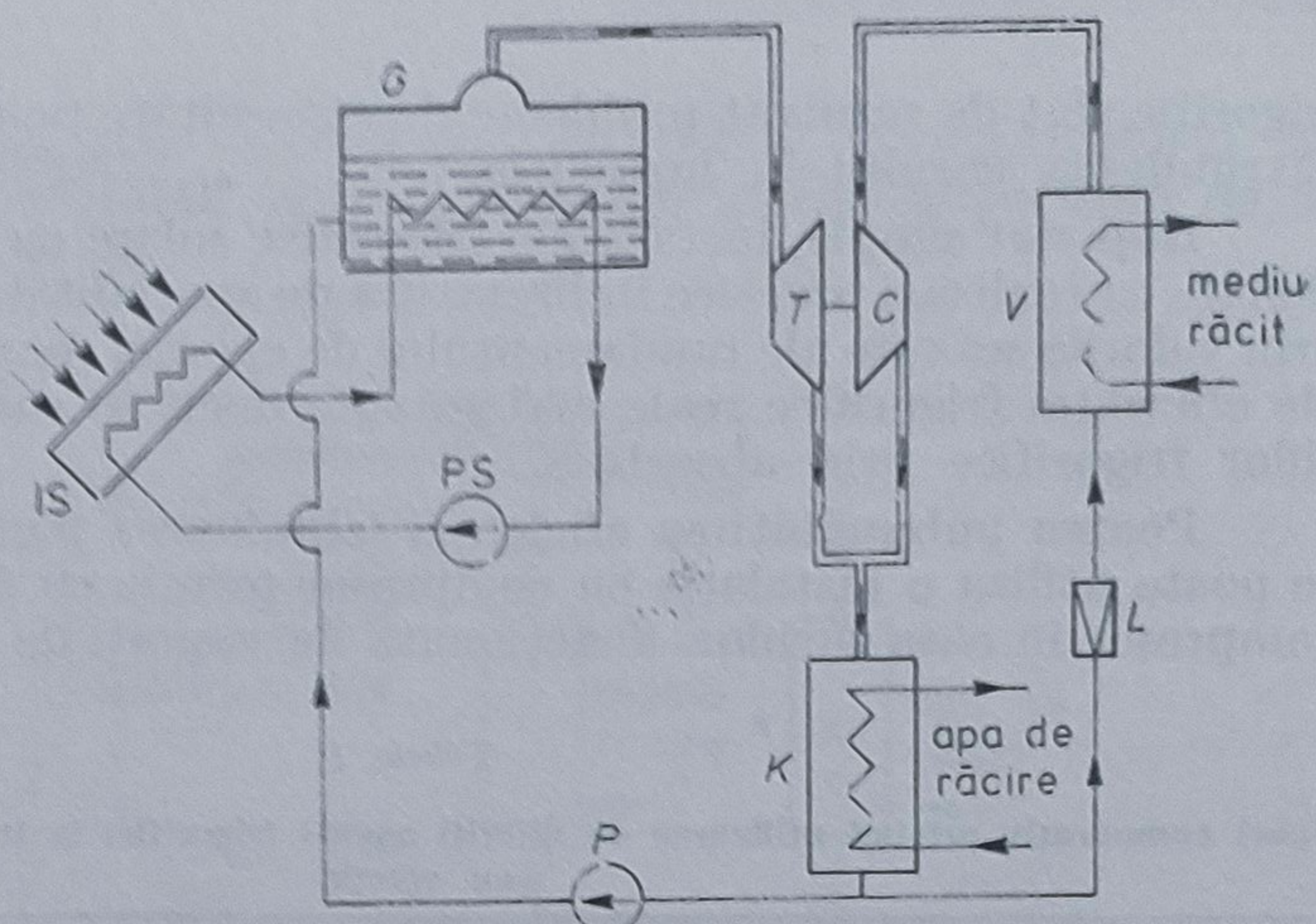


Fig. 6. — Instalație frigorifică solară cu absorbție.

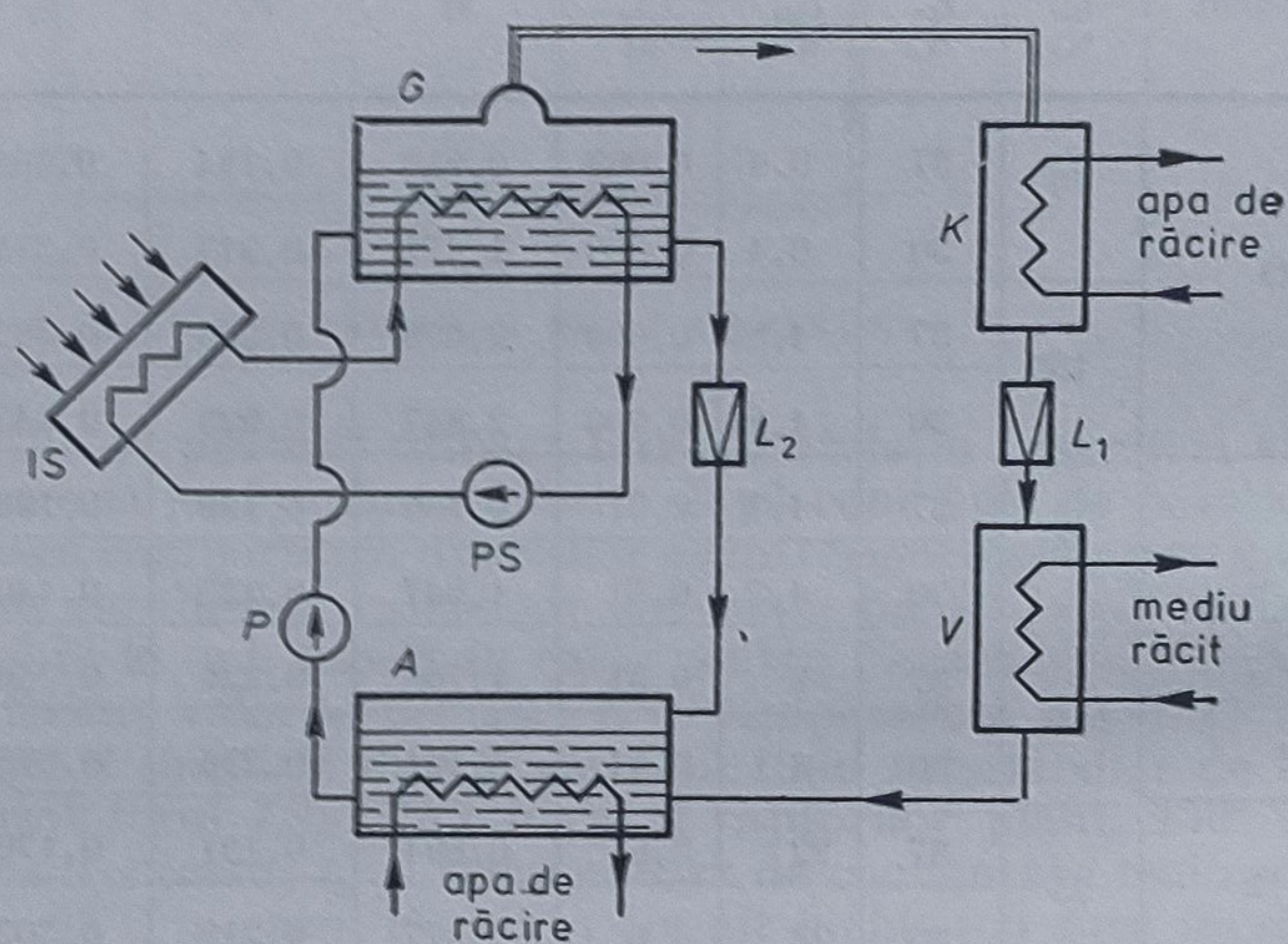
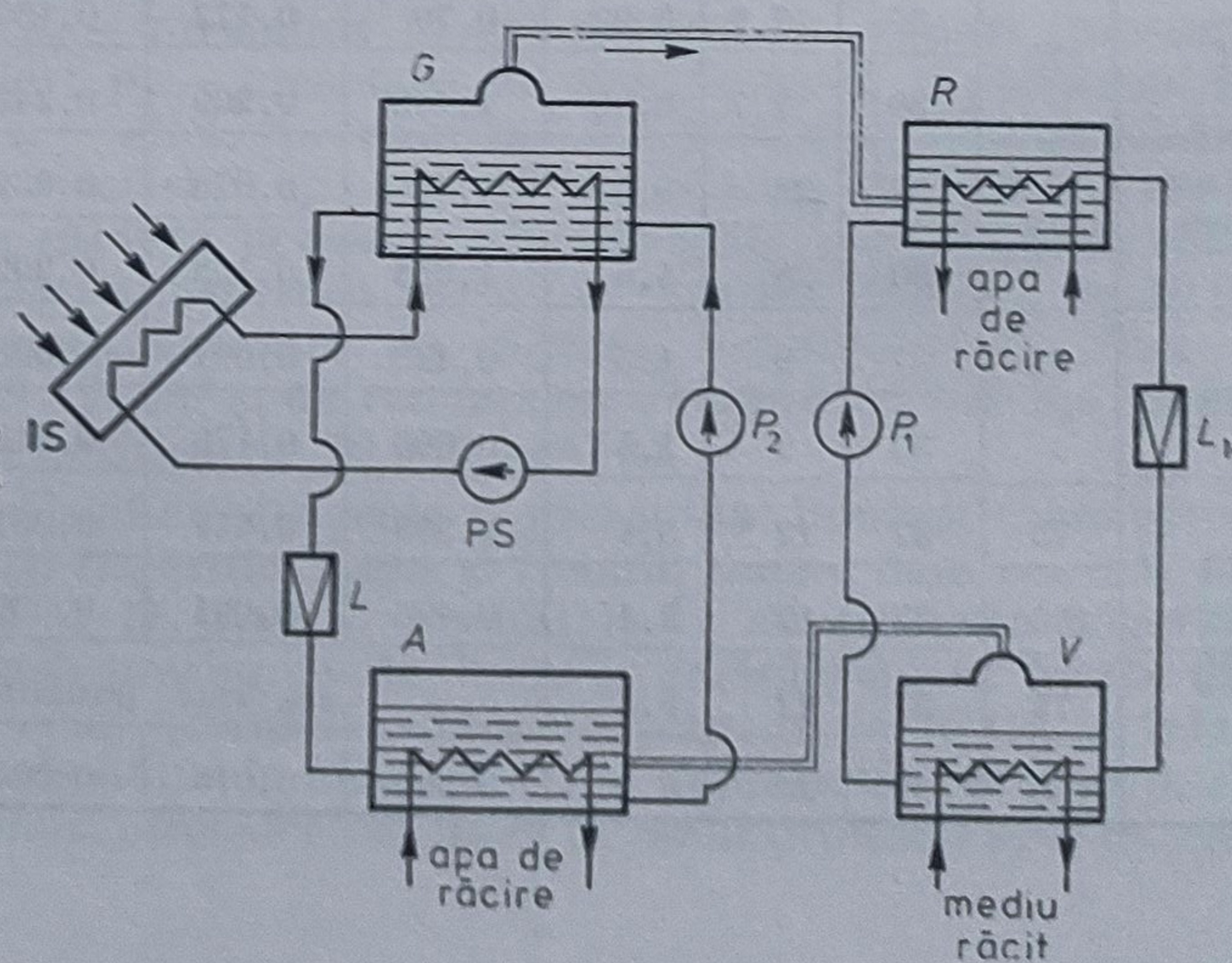


Fig. 7. — Instalație frigorifică solară cu resorbție.





duși în generatorul de vaporii  $G$  antrenează compresorul centrifugal  $C$  (care comprimă vaporii formați în vaporizatorul  $V$  prin preluarea căldurii de la mediul care trebuie răcit) (fig. 5). Prin utilizarea unui agregat turbo-compresor instalația devine însă mai scumpă și mai pretențioasă.

De aceea, pînă în prezent, în construcția instalațiilor frigorifice solare au fost preferate instalațiile bazate pe principiul absorbției.

Instalațiile frigorifice solare cu absorbție pot fi de tip continuu sau intermitent.

În cazul instalației frigorifice prin absorbție de tip continuu (fig. 6), radiația solară poate fi utilizată (direct sau prin intermediul unui fluid intermediar) pentru producerea vaporilor de agent frigorific prin încălzirea soluției binare din generatorul de vaporii  $G$ . Vaporii produși se condensează în condensatorul  $K$ , se laminează în ventilul de laminare  $L_1$  și se vaporizează la temperatură și presiune scăzută în vaporizatorul  $V$ , preluând căldura necesară pentru vaporizare de la mediul care trebuie răcit. Vaporii reci produși în vaporizatorul  $V$  sînt absorbiți în absorbtorul  $A$  de soluția săracă care se reîntoarce din generatorul de vaporii  $G$  (după ce se laminează în ventilul de laminare respectiv  $L_2$  de soluție), după care soluția de mare concentrație rezultată este preluată de pompa  $P$  și retrimisă în generatorul de vaporii  $G$ . Procesul de absorbție fiind exoterm, absorbtorul este răcit (cu apă de răcire). În această figură  $IS$  este captorul de radiație solară iar  $PS$  — pompa pentru fluidul intermediar purtător de căldură.

Soluțiile binare cele mai utilizate sînt: soluția hidroamoniacală (în care amoniacul este folosit ca agent de lucru în ciclul frigorific) utilizată într-un domeniu larg de temperaturi de răcire ( $-70 \dots +15^\circ\text{C}$ ), cu dezavantajul că necesită sisteme de rectificare a vaporilor deoarece temperaturile de fierbere a apei și amoniacului sînt relativ apropiate (la presiunile de lucru din sistem); soluțiile apoase de bromură de litiu și de clorură de litiu (în care apa este folosită ca agent de lucru în ciclul frigorific), utilizabile la temperaturi de răcire mai mari de circa  $6^\circ\text{C}$ , (la nivel de condiționare), cu dezavantajul principal al acțiunii corozive a soluției; soluții binare ce folosesc ca agent frigorific freoni  $R\ 21$  și  $R\ 22$ , avînd ca solvent dimetil eter tetraetilenglicol sau o substanță organică din familia uleiurilor (dibutilftalat), care este mai ieftină.

În literatura de specialitate [3, 4], se menționează realizarea în anii 1969 și 1970 în U.R.S.S., la Institutul fizico-tehnic din R.S.R. Turkmenă, a două modele experimentale de instalații frigorifice solare cu absorbție cu clorură de litiu la nivel de condiționare cu putere frigorifică între 2 000 și 6 000 kcal/h, la o temperatură de vaporizare a soluției în generatorul de vaporii de  $50 \div 60^\circ\text{C}$  (cu utilizare de captori plani).

Este posibil de a produce frig prin instalații cu absorbție continue utilizînd energia solară captată prin captori plani sau prin captori cu concentrare. Separarea vaporilor de agent frigorific din soluție în generatorul de vaporii este însă condiționată de existența unui interval optim al „zonei de degazare” (înțelegînd prin aceasta existența unei diferențe între concentrația maximă de saturație la starea din absorbtor și concentrația minimă de saturație la ieșirea soluției lichide din generatorul de vaporii). În cazul unor temperaturi relativ coborîte ale sursei de căldură (mai ales în cazul unor temperaturi de vaporizare în vaporizator foarte joase) re-



zultă valori inadmisibil de mici ale zonei de degazare și procesul degajării vaporilor în generatorul de vaporii se încetinește iar funcționarea mașinii frigorifice devine instabilă sau chiar imposibilă (la anularea zonei de degazare).

În afară de aceasta întrucât temperatura la care se obține energia solară cu captorii plani este redusă, cresc dimensiunile de gabarit ale mașinii frigorifice cu absorbție.

Pentru îmbunătățirea eficienței frigorifice și pentru a se putea utiliza temperaturi mai reduse la încălzirea în generatorul de vaporii, se poate utiliza instalația frigorifică solară cu resorbție (cu absorbție repetată) (fig. 7). În acest caz radiația solară este utilizată tot pentru producerea vaporilor în generatorul de vaporii  $G$ , dar acești vaporii sunt reabsorbiți de o soluție săracă din resorbitorul  $R$ , după care soluția bogată rezultată se laminează în ventilul de laminare  $L_1$  și intră în vaporizatorul  $V$  (care este de fapt un generator de vaporii la presiune și temperatură scăzută), unde pentru a se produce vaporii soluția de mare concentrație preia căldura de la mediul care trebuie răcit (soluția de joasă concentrație fiind reintrodusă prin pompa  $P$ , în resorbitorul  $R$ ). Vaporii reci formați sunt absorbiți apoi în absorbitorul  $A$  de către soluția de joasă concentrație ce iese din generatorul de vaporii  $G$ . În ansamblu, instalația frigorifică cu resorbție constă din două absorbitoare, două generatoare de vaporii, două pompe de circulație și două robinete de laminare, fiind deci mai complicată și mai voluminoasă decât o mașină cu absorbție simplă. În schimb presiunile în instalație pot fi admise cât mai apropiate de presiunea atmosferică, ceea ce simplifică problemele de etanșare, construcția pompelor și în același timp se reduce temperatura necesară încălzirii în generatorul de vaporii, se reduce cantitatea de apă necesară răcirii și se îmbunătățesc indicii economici ai instalației.

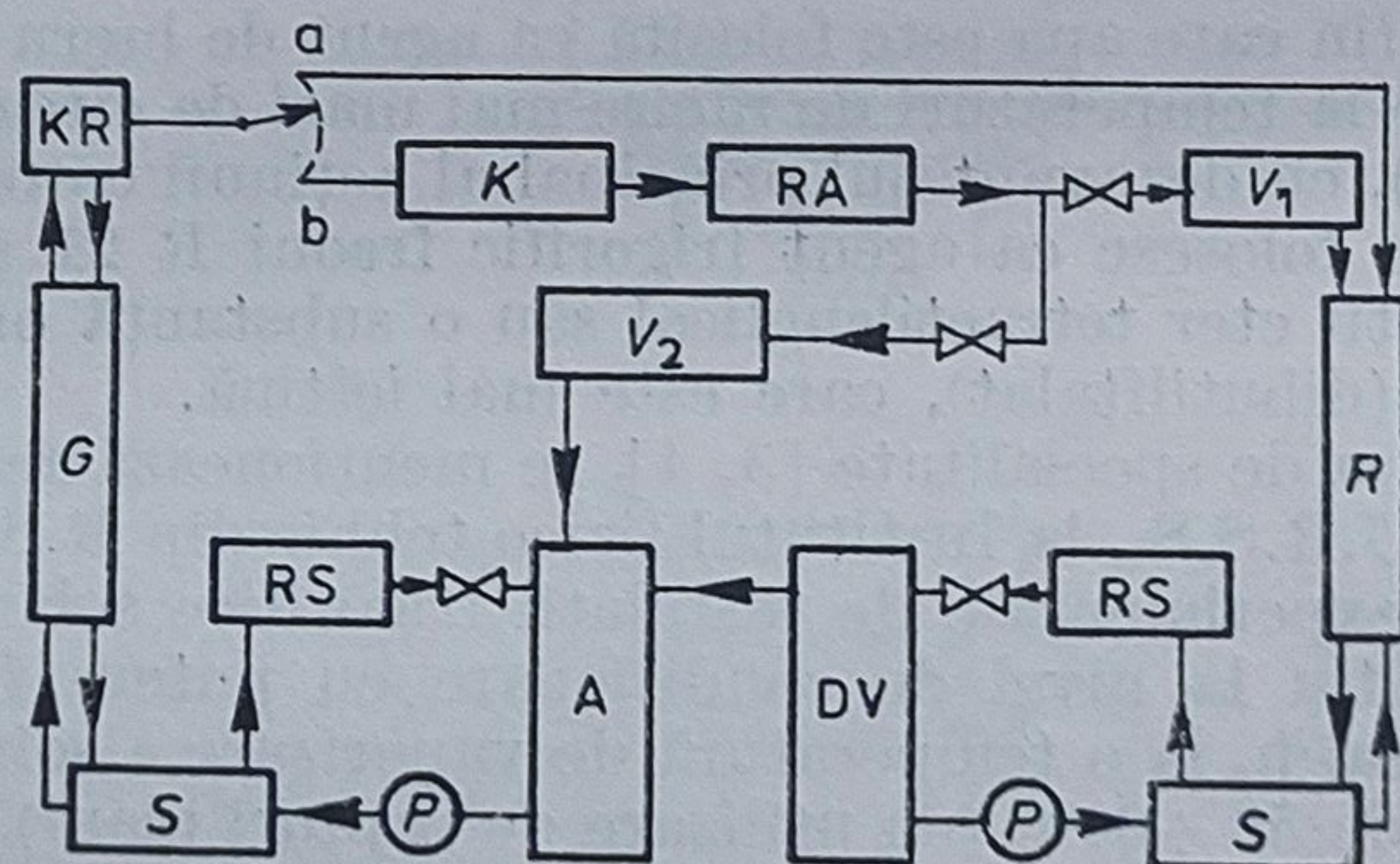


Fig. 8. — Schema unei instalații frigorifice solare cu resorbție realizată în Papua Noua Guinee.

În literatura de specialitate [2], se menționează realizarea în Papua Noua Guinee la Port Moresby a unei instalații frigorifice solare utilizând principiul resorbției (fig. 8). Radiația solară este utilizată pentru încălzirea generatorului de vaporii. Dacă insolația este redusă (temperatura de aproximativ  $65^{\circ}$  în generator) vaporii de agent frigorific rezultați din



generatorul de vapori (după rectificarea în condensatorul de reflux  $KR$ ) sînt dirijați prin circuitul  $a$  direct spre resorbitorul  $R$ , iar frigul este obținut (la nivel de  $10^{\circ}\text{C}$ ) în desorberul (vaporizatorul)  $DV$ , după care vaporii rezultați în desorber sînt absorbiți în absorbitorul  $A$ . Dacă insolația este mai puternică (temperatura de aproximativ  $95^{\circ}$  în generator), vaporii de agent frigorific obținuți în generatorul  $G$  (în cantitate mai mare) sînt dirijați prin circuitul  $b$  direct spre condensatorul  $K$ . De la condensator, agentul frigorific lichid se împarte în două circuite: pentru condiționarea aerului o parte din lichid se vaporizează în vaporizatorul  $V_1$  (creînd un efect de răcire aici la o temperatură de aproximativ  $7^{\circ}\text{C}$ ), iar vaporii trec prin resorbitorul  $R$  și produc un al doilea efect de răcire în desorberul  $DV$ ; pentru conservarea alimentelor cealaltă parte din agentul frigorific lichid trece în vaporizatorul de temperatură joasă  $V_2$  unde realizează un efect de răcire la o temperatură de  $-15^{\circ}\text{C}$ , după care vaporii sînt absorbiți direct în absorbitorul  $A$ . În această figură  $RA$  este rezervorul de agent frigorific lichid,  $RS$ —rezervorul de soluție  $S$ —schimbător de căldură iar  $P$ —pompa.

Însă, instalațiile cele mai multe experimentate, în domeniul utilizării energiei solare pentru producerea frigului, sînt instalațiile cu absorbție cu funcționare periodică, bazată pe schema de principiu reprezentată în

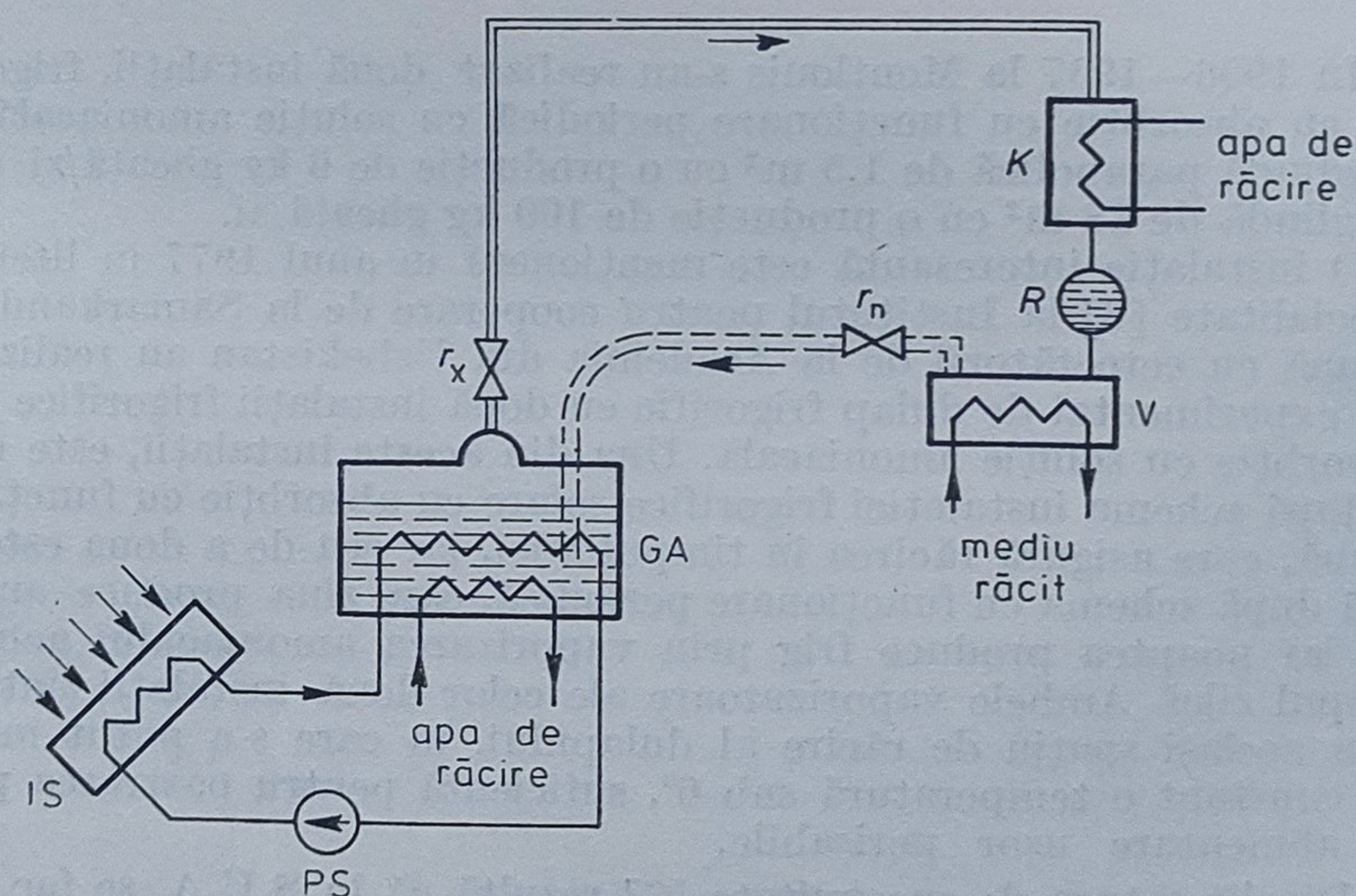


Fig. 9. — Instalație frigorifică solară cu absorbție cu funcționare periodică.

figura 9. La această instalație, generatorul de vapori și absorbitorul sînt reunite în același agregat  $GA$  iar funcționarea instalației are două perioade: în perioada de încărcare a aparatului,  $GA$  funcționează ca generator de vapori, fiind încălzit de la radiația solară primită de insolatorul  $IS$ ; vaporii de agent frigorific produși se condensează în condensatorul  $K$  și se acumulează sub formă de lichid în rezervorul  $R$  și vaporizatorul  $V$ , robinetul  $r_x$  fiind deschis iar robinetul  $r_n$  fiind închis; în perioada de răcire, robinetul



$r_x$  se închide și se deschide robinetul  $r_n$ , atunci agentul frigorific lichid din vaporizator se vaporizează (preluând căldura necesară de la mediul ce trebuie răcit) și vaporii reci sînt absorbiți de soluția săracă rămasă din perioada anterioară în aparatul  $GA$  (care este acum răcit cu un circuit de apă de răcire, ce preia căldura produsă prin procesul de absorbție. Evident, utilizînd energia solară, perioada de încărcare este ziua. Periodicitatea radiației solare se corelează cu periodicitatea funcționării acestor instalații, putîndu-se realiza o stocare de agent frigorific în stare lichidă.

Instalațiile frigorifice de acest tip se caracterizează printr-o simplitate evidentă, nu au niciun organ mobil (nici pompă de circulație a agentului frigorific) și deci sînt etanșe, la aceste instalații nepunîndu-se deci probleme de calități de neinflamabilitate și netoxicitate a agenților frigorifici, neexistînd posibilități de scăpări.

În literatura de specialitate sînt menționate încă din anii 1954—1957 [5] realizări de instalații frigorifice solare cu absorbție cu funcționare periodică pentru producere de gheață artificială (perioada de încărcare ziua iar perioada de răcire, respectiv de producere a gheții, noaptea).

Astfel în anul 1954 la Tașkent (Afganistan — U.R.S.S.) s-a construit o instalație frigorifică solară cu absorbție periodică de producere a gheții cu o producție de 250 kg gheață/zi, instalația avînd generatorul de vaporii plasat în focarul unei mari oglinzi parabolice orientate constant către soare.

În 1956—1957 la Montlouis s-au realizat două instalații, frigorifice solare cu absorbție cu funcționare periodică cu soluție amoniacală, una cu o oglindă parabolică de 1,5 m<sup>2</sup> cu o producție de 6 kg gheață/zi și una cu o oglindă de 18 m<sup>2</sup> cu o producție de 100 kg gheață/zi.

O instalație interesantă este menționată în anul 1977 în literatura de specialitate [6] la Institutul pentru cooperare de la Samarkand, care împreună cu cercetătorii de la Academia din Uzbekistan au realizat un model experimental de dulap frigorific cu două instalații frigorifice solare cu absorbție cu soluție amoniacală. Una din aceste instalații, este concepută după schema instalației frigorifice solare cu absorbție cu funcționare continuă, care asigură răcirea în timpul zilei, iar cea de a doua este concepută după schema cu funcționare periodică, care ziua produce amoniac lichid iar noaptea produce frig prin vaporizarea amoniacului acumulat în timpul zilei. Ambele vaporizatoare ale celor două instalații sînt montate în același spațiu de răcire al dulapului, în care s-a putut menține astfel constant o temperatură sub 6°, suficientă pentru păstrarea produselor alimentare ușor perisabile.

Din literatura de specialitate [7] rezultă că în S.U.A. se fac încercări asupra unor centrale termice de forță solară combinate, pentru obținerea de energie electrică, căldură, frig și apă caldă. În sisteme de centrale combinate (denumite și centrale în cascadă) se poate obține apă și abur cu temperaturi de 175—230°C, care iese din turbină cu 93°C și este apoi dirijat în mașina frigorifică cu absorbție și în sisteme de alimentare cu apă caldă pentru obținerea de apă cu temperatura de circa 54°C.

Astfel instalațiile frigorifice solare cele mai de viitor rămîn tot instalațiile bazate pe absorbție, care au o eficiență frigorifică mai bună decît cele de eiecție.



# Bibliografie

1. G. J., VELLA L. B HARRIS, H. J. GOLDSMID A solar thermoelectric refrigerator, Solar Energy. 18, 355—359 (1976).
2. CHINNAPPA J. C. V., H. A. MARTIN, Dual — mode operation by solar energy of an ammonia — water two-stage cycle : a comparative study, Solar Energy 18, 337—342 (1976).
3. A. KAKABAEV, A. HANDURDIEV, Ispitanie hloristolitievoi absorbtionnoi solnecinoi holodilnoi ustanovki s otkritim viparivaniem rastvora, Holodilnaia tehnica, 10, 38—40 (1969).
4. V. A. BAUM, A. HANDURDIEV, A. KAKABAEV, Isledovanie solnecinoi absorbtionnoi holodilnoi ustanovki v letnih usloviah Turkmenii, Holodilnaia tehnica, 2, 34—38 (1972).
5. \* \* \* Application thermique de l'energie solaire dans le domaine de la recherche et de l'industrie, Mont Louis, 23—28 Juin, 1958, CNRS, Paris, 1961.
6. T. M. MAKSUDOW, A. T. WACHIDOW, Nutzung der Sonnenenergie für die Lagerung von leichtverderblichen Produkten, Lebensmittel Industrie 464- 465, octombrie 1977.
7. R. K. DJORDAN, Vozmojnosti teplovovo preabrazovania solnecinoi energhii v elektriceskuu dlia telei kondicionirovania vozduha, Holodilnaia tehnica, 3, 47—48 (1976).



---

# POSIBILITĂȚILE REALIZĂRII CENTRALELOR SOLARE FOTOVOLTAICE

---

Ion DIMA\*)

## 0. Introducere

Conversia energiei solare în alte forme de energie a devenit o preocupare de prim ordin a oamenilor de știință în deceniul opt al secolului nostru, odată cu declanșarea crizei petrolului [1]. În perspectiva epuizării rezervelor fosile de energie această preocupare se va accentua în următoarele două decenii. Una din cele mai atrăgătoare forme de conversie a energiei solare este cea directă în energie electrică pe baza fenomenului fotovoltaic [2, 3]. De premisele științifice, tehnologice și economico-sociale ale folosirii acestui fenomen la realizarea centralelor electrice solare, cu puteri între .1 kW și 1 GW, ne vom ocupa în lucrarea de față.

## 1. Fenomenul fotovoltaic în homojoncțiunea semiconductoare

Fenomenul fotovoltaic constă în generarea unei tensiuni electromotoare într-o homojoncțiune (heterojoncțiune sau diodă Schottky) sub acțiunea luminii [3].

Probabilities related to the construction of photovoltaic solar power stations

After a review of the present performances of the photo-junctions and their current-voltage characteristics, the idea of achieving powerful solar stations in the cosmic space is shortly examined.

---

\*) Universitatea București.

### 1.1. Homojoncțiunea semiconductoare

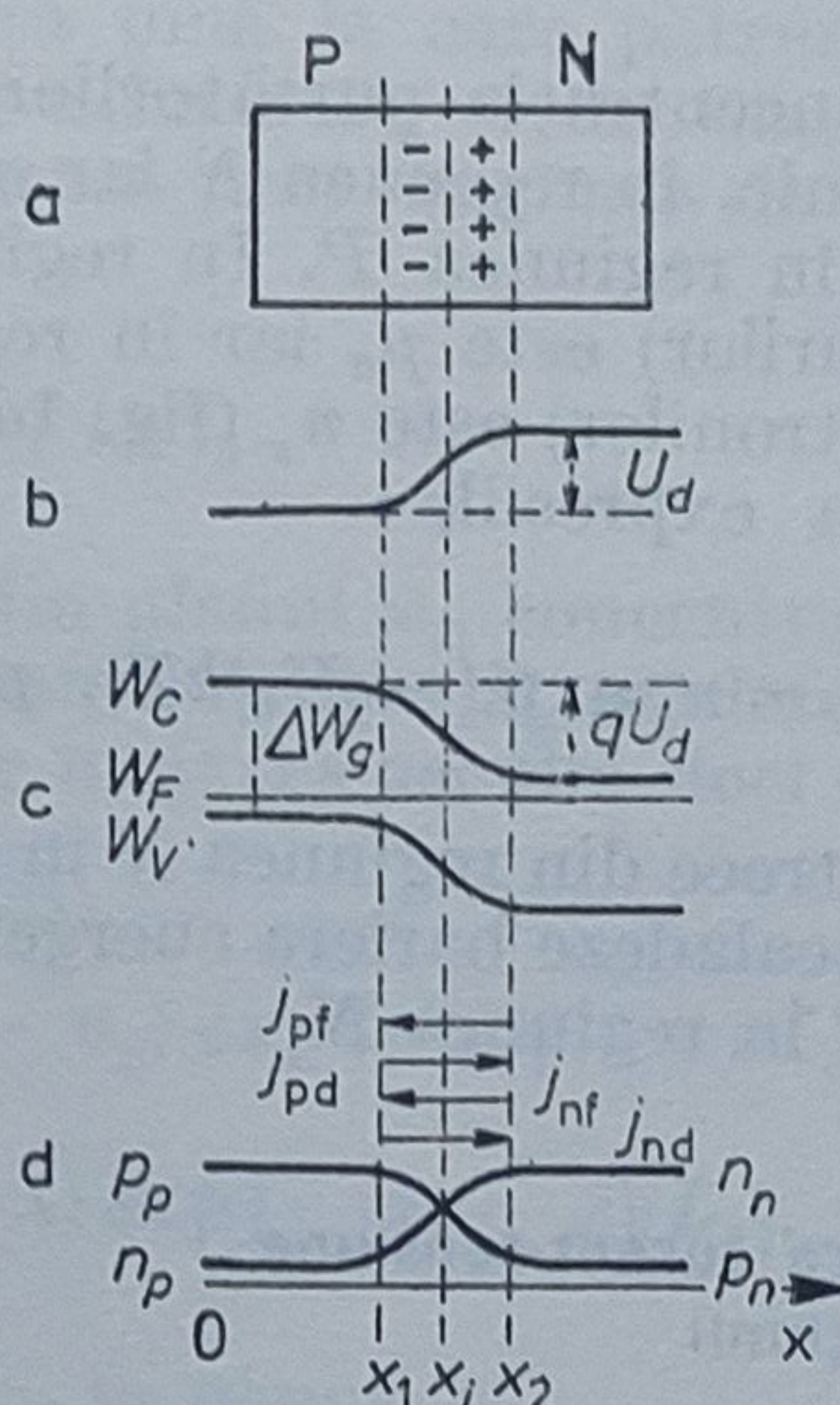
Homojoncțiunea se formează în același semiconductor — de exemplu siliciu (Si) — la contactul a două regiuni cu tipuri de conducție opuse, tip—*P* și tip—*N*. În regiunea de tip—*P* purtătorii de sarcină majoritari sînt golurile (pozitive), purtători minoritari fiind electronii iar în regiune de tip—*N* se întâlnește situația inversă, purtătorii ma-



joritari sînt electronii, purtătorii minoritari fiind golurile. Electronii difuzează din regiunea  $N$  în regiunea  $P$ , lăsînd în regiunea  $N$  impurități donoare cu sarcini pozitive localizate necompensate iar golurile difuzează din regiunea  $P$  în regiunea  $N$ , lăsînd în regiunea  $P$  impurități acceptoare cu sarcini negative localizate necompensate.

La contactul celor două regiuni ia naștere un strat dublu de sarcină, un cîmp electric, numit cîmpul intern al homojoncțiunii (fig. 1a). Adesea, domeniul în care acționează acest cîmp se numește joncțiune propriu-zisă. Cîmpul intern va acționa asupra

Fig. 1. — Structura energetică, distribuția curenților și concentrației purtătorilor în homojoncțiunea  $P-N$ .



purtătorilor de sarcină în sens opus difuziei, determinînd stabilirea unor curenți ohmici opuși curenților de difuzie. La echilibru termodinamic, pentru fiecare tip de purtători, curentul de difuzie este compensat de curentul ohmic.

Potențialul electric în joncțiune va depinde rapid de coordonata  $x$ , variația lui fiind egală cu  $U_d$ , numită potențial de difuzie, de fapt fiind diferența de potențial de contact (fig. 1b). Datorită existenței diferenței de potențial de contact benzile de energie au comportarea redată în figura 1c, unde s-a notat cu  $W_c$ , minimul benzii de conducție,  $W_v$ , maximul benzii de valență,  $\Delta W_g$ , banda interzisă iar cu  $W_F$  nivelul Fermi.

Curenții de difuzie (densitățile de curent) a electronilor și golurilor se vor scrie :

$$j_{nd} = q D_n \frac{dn}{dx}, \quad j_{pd} = -q D_p \frac{dp}{dx}, \quad (1)$$

iar curenții ohmici :

$$j_{nf} = q n \mu_n E, \quad j_{pf} = q p \mu_p E, \quad (2)$$

unde  $q$  este sarcina electronului,  $n$  și  $p$ ,  $D_n$  și  $D_p$ ,  $\mu_n$  și  $\mu_p$  sînt concentrațiile, coeficienții de difuzie, mobilitățile electronilor respectiv golurilor.



La echilibru termodinamic sînt satisfăcute relațiile :

$$j_{na} + j_{nf} = 0, j_{pa} + j_{pf} = 0, j_{na} + j_{nf} + j_{pa} + j_{pf} = 0 \quad (3)$$

În bilanț, curentul prin interfața joncțiunii este egal cu zero (fig. 1d). În aceste condiții, concentrația purtătorilor de sarcină în joncțiune poate fi calculată cu ajutorul distribuției Boltzmann :

$$n(x) = n_n \exp(-qU(x)/kT), \quad p(x) = p_p \exp(-qU(x)/kT), \quad (4)$$

unde  $n_n$  este concentrația purtătorilor majoritari (electronilor), la echilibru termodinamic, în regiunea  $N$  iar  $p_p$ , concentrația purtătorilor majoritari (gurilor) în regiunea  $P$ . În regiunea  $N$  concentrația purtătorilor minoritari (gurilor) este  $p_n$  iar în regiunea  $P$  concentrația purtătorilor minoritari (electronilor) este  $n_p$  (fig. 1d), Concentrațiile purtătorilor minoritari vor avea expresiile :

$$n_p = n_n \exp(-qU_d/kT), \quad p_n = p_p \exp(-qU_d/kT) \quad (5)$$

Pentru a trece din regiunea  $N$  în regiunea  $P$  electronii care difuzează vor trebui să escaladeze bariera energetică  $qU_d$  ca și gurile care difuzează din regiunea  $P$  în regiunea  $N$

## 1.2. Caracteristica curent-tensiune a homojoncțiunii

Să ne ocupăm acum de comportarea homojoncțiunii, la întineric, atunci cînd îi aplicăm o diferență de potențial ( $U$ ), în sens direct (fig. 2a). În

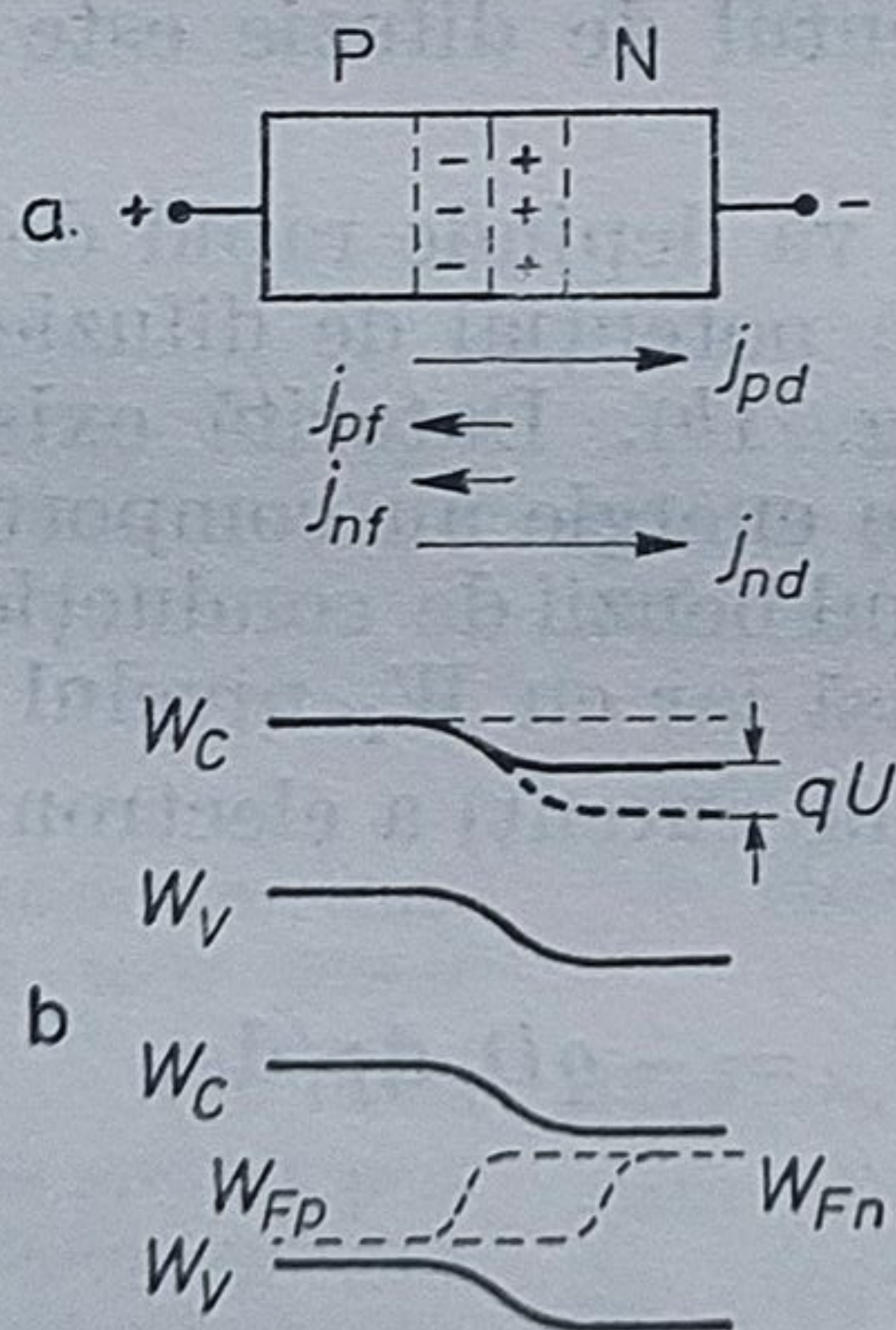


Fig. 2. — Structura energetică a homojoncțiunii  $P-N$ , supusă la tensiune directă.

aceste condiții ceea ce se modifică în mod esențial față de starea de echilibru termodinamic sînt curenții de difuzie, în timp ce curenții ohmici rămîn practic aceiași (fig. 2b). Bariera energetică se micșorează cu mări-



mea  $qU$  (fig. 2b) astfel că mai mulți purtători vor avea energia necesară pentru a participa la curentul de difuzie. Concentrația electronilor în planul  $x_1$  devine

$$n(x_1) = n_n \exp [-(qU_a - qU)/kT] = n_p \exp (qU/kT). \quad (6)$$

Apare astfel un exces de electroni  $n(x_1) - n_i$  în regiunea  $P$  față de echilibru termodinamic. Acești electroni difuzînd spre fața  $x = 0$  vor recombina cu golurile, adesea prin intermediul unor nivele energetice plasate în banda interzisă. Distanța pînă la care pătrund electronii în exces depinde de coeficientul lor de difuzie  $D_n$  și de timpul lor de viață  $\tau_n$ . Această pătrundere se caracterizează prin lungimea de difuzie care are expresie

$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n}. \quad (7)$$

Pînă la distanța  $L_n$ , pornind din planul  $x_1$ , concentrația electronilor în exces scade de  $e$  ori: apoi cu fiecare interval  $L_n$  scăderea este de  $e$  ori. Micșorarea concentrației electronilor în exces ascultă deci de o lege exponențială de forma

$$\begin{aligned} \Delta n(x) &= (n_p \exp (qU/kT) - n_p) \exp [-(x_1 - x)/L_n] = \\ &= n_p (\exp (qU/kT) - 1) \exp [-(x_1 - x)/L_n]. \end{aligned} \quad (8)$$

Analog vom avea pentru goluri, în planul  $x_2$

$$p(x_2) = p_p \exp [-(qU_a - qU)/kT] = p_n \exp (qU/kT). \quad (9)$$

Lungimea de difuzie a golurilor are expresia

$$L_p = \sqrt{D_p \tau_p}, \quad (10)$$

unde  $\tau_p$  este timpul de viață a golurilor.

Concentrația golurilor în exces, care difuzează în regiunea  $N$ , va scădea după legea exponențială

$$\begin{aligned} \Delta p(x) &= (p_n \exp (qU/kT) - p_n) \exp [-(x - x_2)/L_p] = \\ &= p_n (\exp (qU/kT) - 1) \exp [-(x - x_2)/L_p]. \end{aligned} \quad (11)$$

Folosind expresiile (8) și (11) pot fi calculați curenții de difuzie a electronilor în regiunea  $P$  și respectiv a golurilor în regiunea  $N$ . Curentul de difuzie a electronilor în regiunea  $P$  se va scrie

$$j_{na} = qD_n d(\Delta n)/dx = (qD_n/L_n) \Delta n(x). \quad (12)$$



Din relația (12) rezultă dependența exponențială de  $x$  a lui  $j_{nd}$ . În planul  $x_1$  densitate curentului de difuzie a electronilor capătă forma

$$j_{nd} = (qD_n/L_n)n_p (\exp (qU/kT) - 1). \quad (13)$$

Analog, pentru golurile care difuzează în regiunea  $N$  vom găsi

$$j_{pd} = (qD_p/L_p) \Delta p(x), \quad (14)$$

iar în planul  $x_2$

$$j_{xd} = \frac{qD_p}{L_p} p_n (\exp (qU/kT) - 1). \quad (15)$$

Însumînd curenții (13) și (15) obținem

$$j = q \left( \frac{D_n n_p}{L_n} + \frac{D_p p_n}{L_p} \right) (\exp (qU/kT) - 1). \quad (16)$$

Relația (16) reprezintă caracteristica curent-tensiune a joncțiunii la întuneric (fig. 3 curba  $a$ ). Mărimea

$$j_s = q \left( \frac{D_n n_p}{L_n} + \frac{D_p p_n}{L_p} \right) \quad (17)$$

se numește curent de saturație și se observă că este egal cu curentul ce se stabilește la tensiune exterioară inversă, cînd aceasta ia valori suficient de

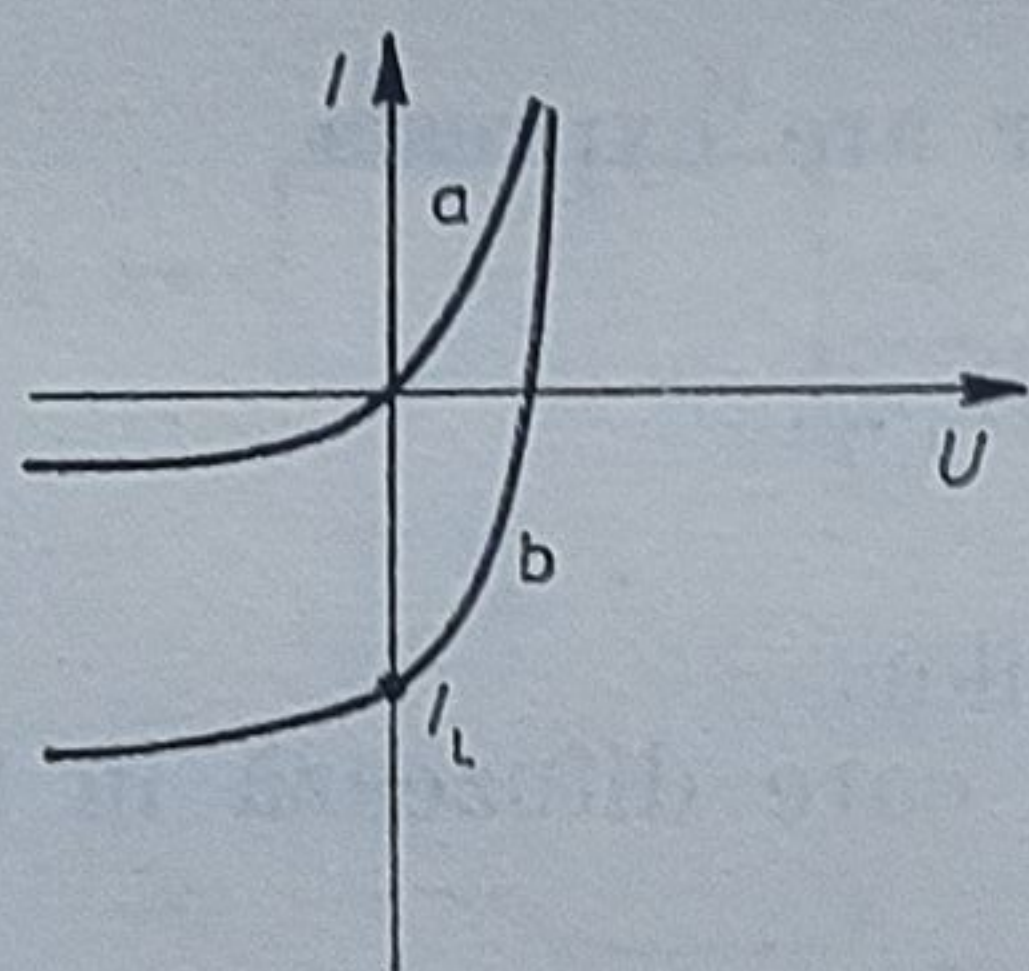


Fig. 3. — Caracteristica curent-tensiune a homo-joncțiunii  $P-N$ , la întuneric ( $a$ ) și la lumină ( $b$ ).

mari, dar, în același timp, mai mici decît valoarea de străpungere. Curentul  $j_s$  poate căpăta și alte expresii dacă se folosesc relațiile (7) și (10) și ecuația lui Einstein

$$D_n = \mu_n \frac{kT}{q} \left( \text{sau } D_p = \mu_p \frac{kT}{q} \right), \quad (18)$$

unde  $\mu_n$  și  $\mu_p$  sînt mobilitățile electronilor, respectiv golurilor.



Relația (16) nu ține seamă de procesele de recombinare care pot interveni în joncțiunea propriu zisă. Când această recombinare joacă un rol esențial atunci la tensiuni directe mici este adevărată expresia

$$j = j_s(\exp(qU/kT) - 1), \quad (19)$$

unde  $A$  ia de regulă valori între 1 și 2 [3].

### 1.3. Caracteristica curent-tensiune a homojoncțiunii iluminate

Când homojoncțiunea este iluminată — de exemplu, lumina cade pe fața  $x = 0$  a regiunii  $P$  (fig. 4) — caracteristica curent-tensiune este translată pe axa curenților în spre valori negative cu valoarea  $I_L$ , numită fotocurent (fig. 3 curba  $b$ ). Densitatea curentului prin homojoncțiunea iluminată capătă expresia

$$j = j_s(\exp(qU/kT) - 1) - j_L. \quad (20)$$

Adesea se face notația  $j_D = j_s(\exp(qU/kT) - 1)$  iar  $j_D$  este numit curent de diodă. Caracteristica păstrează aceeași formă și când nu se aplică pe joncțiune o tensiune exterioară. În acest caz, în expresia (20),  $U$  este fototensiunea generată în homojoncțiune, culeasă de pe rezistența de sarcină  $R$  (fig. 4). Relației (20) i se poate asocia schema electrică echivalentă redată în figura 5[4].

Conform geometriei redată în figura 4, în practică, cea mai mare parte a fotonilor, cu energii mai mari decât banda interzisă (în cazul Si,  $W_g = 1,12$  eV) este absorbită în regiunea  $P$ . La absorbția unui foton un electron este trecut din banda de valență în banda de conducție: ia naștere astfel o pereche de purtători de sarcină liberi — un electron în banda de conducție și un gol în banda de valență. Concentrația purtătorilor fotogenerați — electronilor și golurilor — este proporțională cu rata de absorbție a fotonilor și cu timpul de viață al purtătorilor. Fotopurtătorii vor difuza spre joncțiune, acolo unde acționează câmpul intern al acesteia. Purtătorii minoritari (electronii) vor fi trecuți de câmp în regiunea  $N$ . Curentul care se stabilește astfel în câmpul joncțiunii trebuie să fie egalat de cel de difuzie spre joncțiune al purtătorilor minoritari (electronilor) fotogenerați. Astfel fotocurentul are sensul opus celui ce se stabilește în joncțiune la întuneric când acesteia i se aplică o tensiune directă.

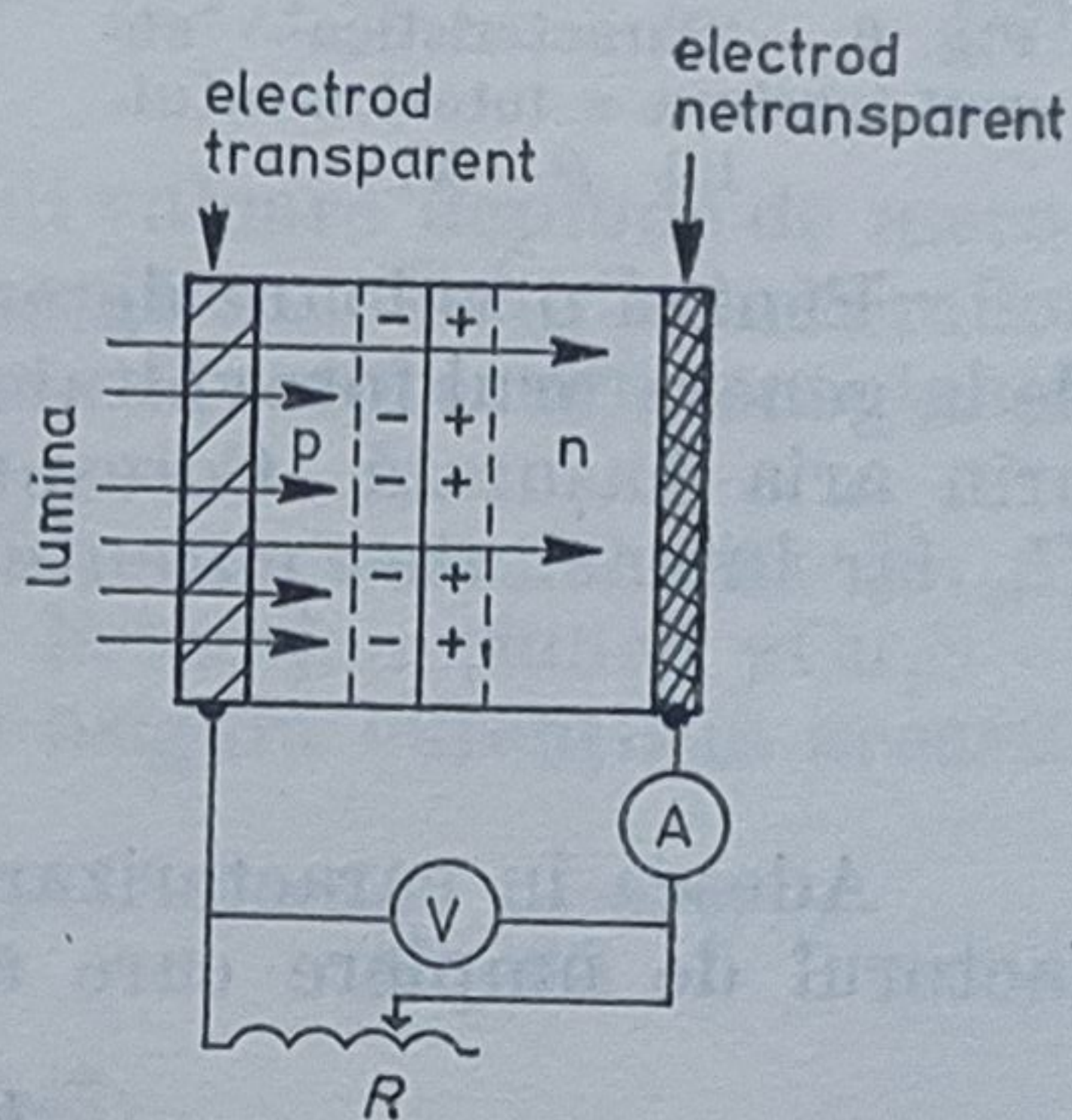


Fig. 4. — Schema electrică folosită la ridicarea caracteristicii curent-tensiune a fotoelementului  $P-N$ .

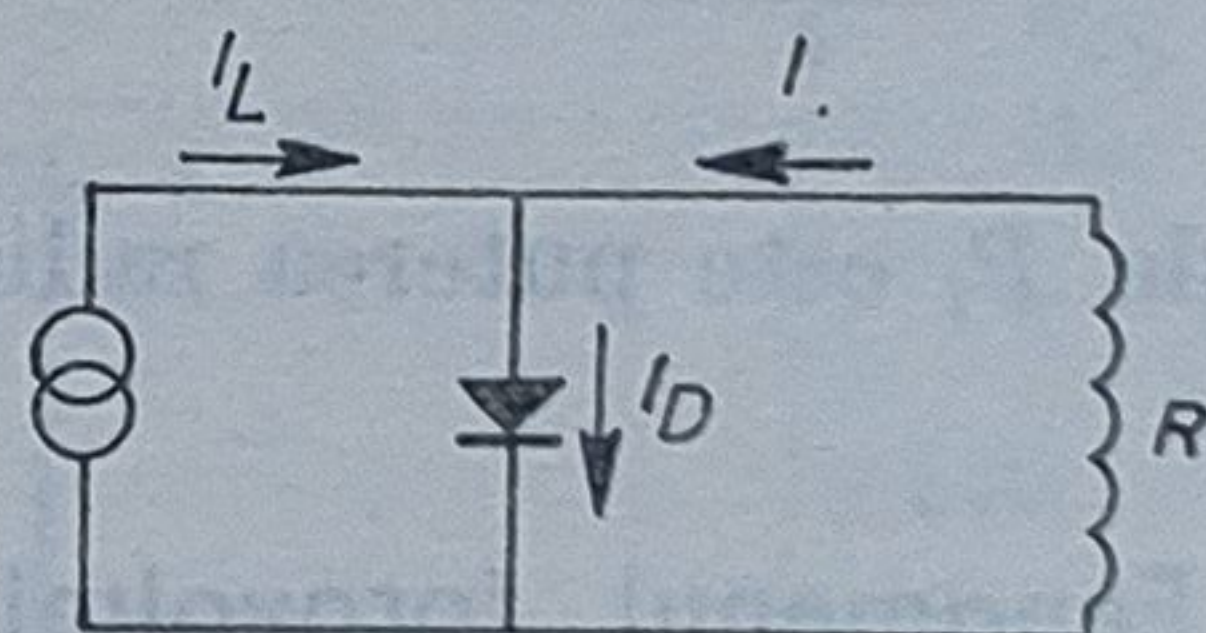


Fig. 5. — Schema electrică echivalentă a fotoelementului  $P-N$ .



Cînd homo joncțiunea funcționează ca un generator de energie electrică (deci fără tensiune exterioară) caracteristica experimentală curent-tensiune poate fi ridicată doar în cadranul IV (fig. 6).

Luînd  $U = 0$  ( $R = 0$ ), din relația (20) se obține curentul de scurtcircuit, care în mod obișnuit se numește fotocurentul

$$j_{sc} = j_L. \quad (21)$$

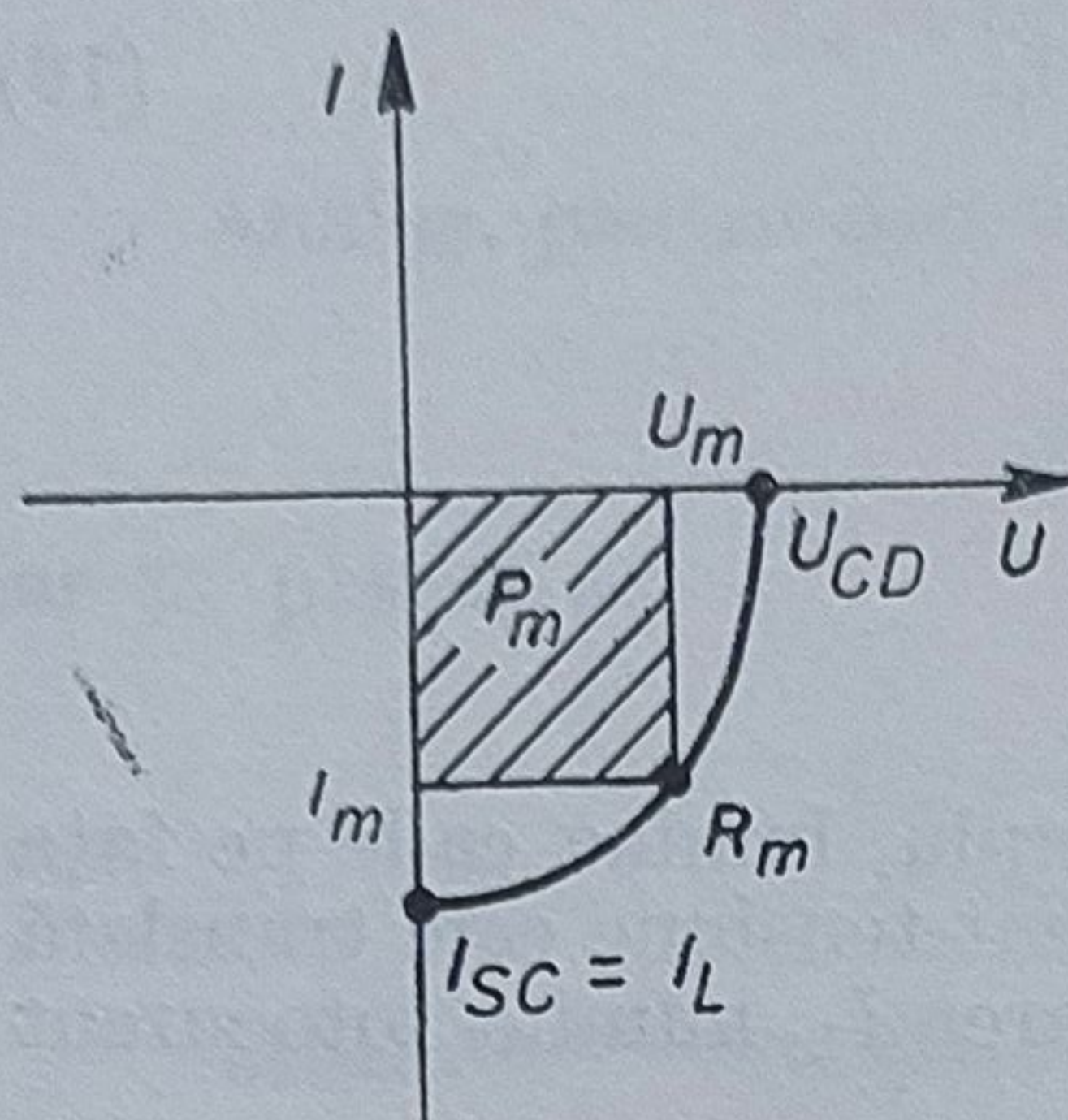


Fig. 6. — Caracteristica curent-tensiune a fotoelementului P-N.

Luînd  $j = 0$  ( $R = \infty$ ) din relația (20) se obține tensiunea de circuit deschis, numită și fototensiune

$$U_{CD} = (kT/q) \ln [(j_L + j_s)/j_s]. \quad (22)$$

Curentul de scurtcircuit (fotocurentul) și tensiunea de circuit deschis (fototensiunea) sînt indicate în figura 6.

Pentru o valoare determinată  $R_m$  rezistența de sarcină poate prelua de la generatorul fotovoltaic puterea maximă  $P_m$ , reprezentată pe figura 6 prin aria hașurată. Corespunzător, tensiunea, în acest caz ia valoarea  $U_m$  iar intensitatea curentului  $I_m$ . Puterea  $P_m$  poate fi exprimată

$$P_m = U_m I_m. \quad (23)$$

Adesea în caracterizarea performanțelor celulelor solare este folosit factorul de umplere care are expresia

$$F = U_m I_m / U_{CD} I_{sc}. \quad (24)$$

Parametrul cel mai important însă al celulei solare este eficiența (randamentul) de conversie care se definește

$$\eta = P_m / P_i, \quad (25)$$

unde  $P_i$  este puterea radiației luminoase incidente.

## 2. Fenomenul fotovoltaic în hetero joncțiunea semiconductoare

O hetero joncțiune se realizează prin aducerea în contact a doi semiconductori diferiți: pe lângă tipuri de conducție diferite aceștia au structuri de benzi energetice, mase efective ale purtătorilor, constante de rețea și alte proprietăți fizice diferite.

Avînd benzi interzise diferite unul din semiconductori va absorbi fotoni cu energii într-un interval mai mare decît poate absorbi celălalt semiconductor. De aceea în cazul hetero joncțiunii doar unul din semiconductori este considerat ca fotoactiv.



În acest paragraf ne vom referi la particularitățile pe care le prezintă heterojoncțiunea  $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$ , una din cele mai studiate în prezent.  $\text{Cu}_2\text{S}$  este un semiconductor degenerat de tip  $P$  (avînd concentrația golurilor  $> 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ) iar  $\text{CdS}$  un semiconductor de tip  $N$  (avînd concentrația electronilor de aproximativ  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ). În paragraful 3 vom face scurte referiri și la performanțele altor heterojoncțiuni. În lucrarea de față nu ne vom ocupa de contactul Schottky sau alte structuri.

Într-o heterojoncțiune ideală iluminată relația curent-tensiune se păstrează în principiu aceeași ca în cazul homojoncțiunii (20).

Într-o heterojoncțiune reală, afară de procesele menționate la homojoncțiunea ideală, mai intervin recombinațiile atît la suprafață cît și la interfață. De asemenea, un rol esențial joacă proprietățile conductive ale semiconductorilor.

În cazul heterojoncțiunii  $\text{Cu}_2\text{S} - \text{CdS}$  relația curent-tensiune capătă forma

$$j - (U - IR_s)/R_{sh} = \sum_i j_{0i} (\exp [\alpha_i (U - R_s I)] - 1) - j_L, \quad (26)$$

unde  $\alpha_i = q/(A_i k T)$ ,  $A_i$  fiind un coeficient a cărui valoare depinde de mecanismul dominant care asigură curentul prin joncțiune. Valorile mărimilor  $j_{0i}$  depind de asemenea de aceste mecanisme,  $R_s$  reprezintă rezistența serie iar  $R_{sh}$  rezistența sunt a fotoelementului.

Cu ajutorul diagramei energetice (fig. 7), frecvent folosită [5, 6] în înțelegerea proceselor fizice care au loc în heterojoncțiunea  $p\text{Cu}_2\text{S} - n\text{CdS}$ , pot fi reprezentate mecanismele care asigură curenții în această

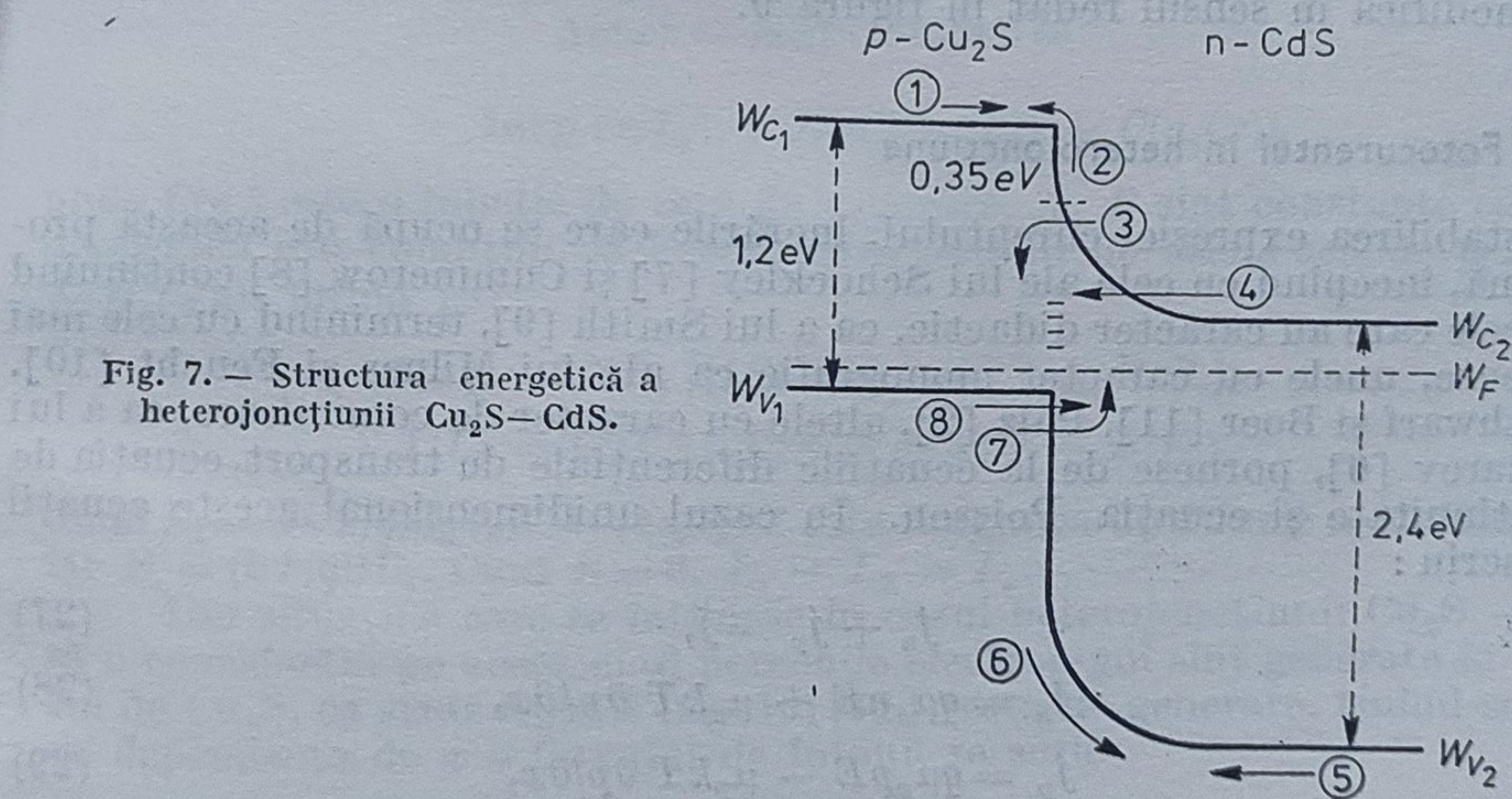


Fig. 7. — Structura energetică a heterojoncțiunii  $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$ .

heterojoncțiune. Benzile sînt curbate în cîmpul joncțiunii, care în cea mai mare parte este plasat în  $n\text{CdS}$ . Pe figura 7 săgețile 1 și 5 reprezintă transportul prin difuzie a fotoelectronilor respectiv a fotogolurilor, ca purtători minoritari, 2 și 6, transportul prin difuzie a electronilor respectiv golurilor, ca purtători majoritari, 4 și 8, efectele de tunelare iar 3 și 7 procesele de



recombinare prin stările de interfață. La cele de mai sus mai trebuie adăugate procesele de recombinare de la suprafață. Procesele notate cu 1, 2, 3, joacă un rol esențial în funcționarea fotoelementului de  $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$ .

Dacă se ține seamă de aceste procese schema echivalentă electrică capătă forma din figura 8.

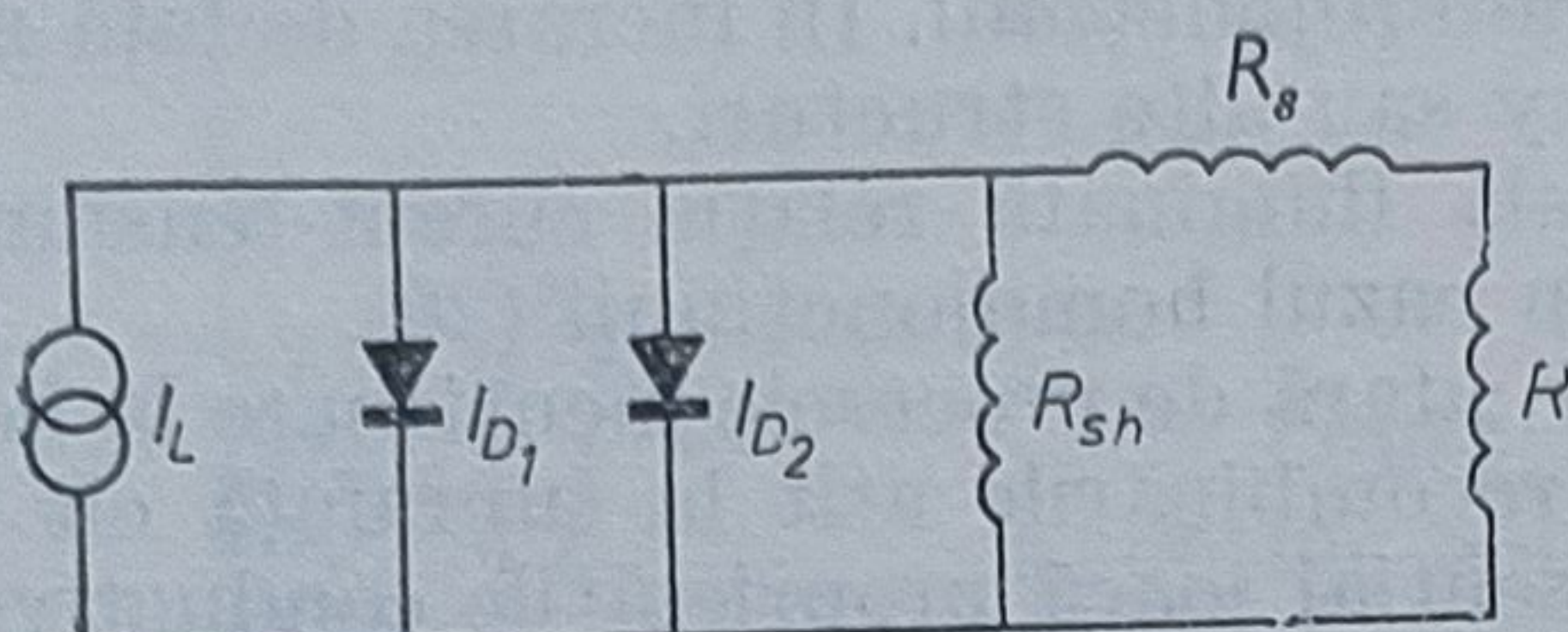


Fig. 8. — Schema electrică echivalentă a unei heterojoncțiuni (fotoelement).

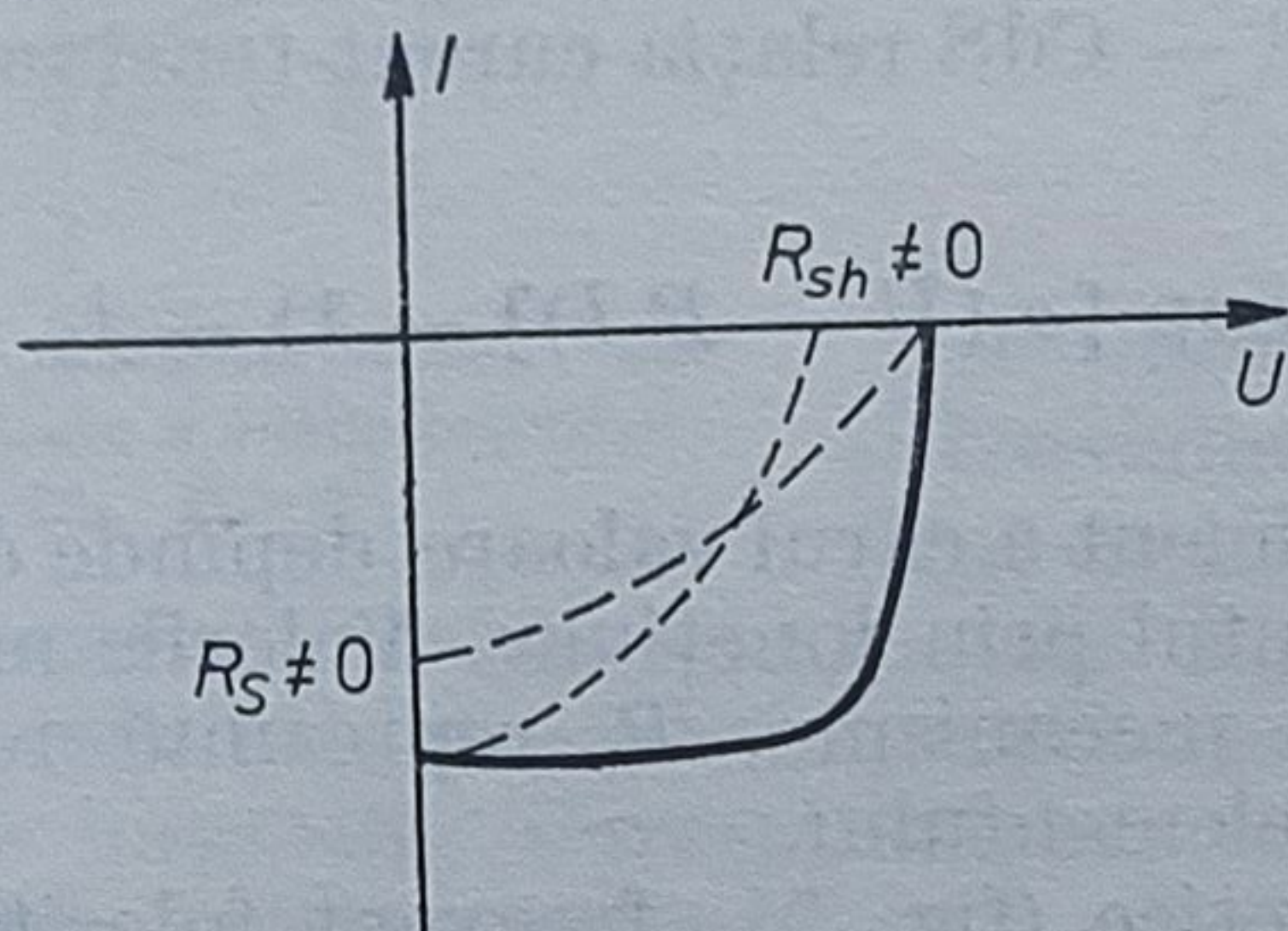


Fig. 9. — Caracteristica curent-tensiune pentru cazurile  $R_s \neq 0$  și  $R_{sh} \neq \infty$ .

Pe de altă parte, ținând seamă de existența rezistențelor sunt și serie ale fotoelementului, caracteristica curent-tensiune în cadranul IV se modifică în sensul redat în figura 9.

## 2.1. Fotocurentul în heterojoncțiune

În stabilirea expresiei curentului, lucrările care se ocupă de această problemă, începînd cu cele ale lui Shockley [7] și Cummerow [8] continuînd cu cele care au caracter didactic, ca a lui Smith [9], terminînd cu cele mai recente, unele cu caracter monografic ca ale lui Milnes și Feucht [10], Rothwarf și Boer [11], Palz [2], altele cu caracter de comunicare, ca a lui Lazarev [6], pornesc de la ecuațiile diferențiale de transport, ecuația de continuitate și ecuația Poisson. În cazul unidimensional aceste ecuații se scriu :

$$j_n + j_p = j, \quad (27)$$

$$j_n = q\mu_n n E + \mu_n k T \partial n / \partial x, \quad (28)$$

$$j_p = q\mu_p p E - \mu_p k T \partial p / \partial x, \quad (29)$$

$$\partial E / \partial x = \rho(x) / \epsilon \quad (30)$$

$$\text{div } \mathbf{j} + \partial \rho / \partial t = 0 \quad (31)$$

$$dn/dt = g_n - r_n + 1/q \cdot \partial j_n / \partial x, \quad (32)$$

$$dp/dt = g_p - r_p - 1/q \cdot \partial j_p / \partial x, \quad (33)$$



unde  $j$  este densitatea totală a curentului,  $j_n, j_p$  sînt densitățile curenților ale electronilor, respectiv golurilor,  $\mu_n, \mu_p$  — mobilitățile electronilor, respectiv golurilor,  $q$  — sarcina electronului,  $E$  — intensitatea cîmpului electric,  $k$  este constanta Boltzmann,  $T$  — temperatura absolută  $g_n, g_p$  sînt ratele de generare și  $r_n, r_p$  — ratele de recombinare ale electronilor și golurilor.

Pentru ratele de recombinare sînt adesea folosite expresiile aproximative

$$r_n = (n - n_0)/\tau_n \quad r_p = (p - p_0)/\tau_p. \quad (34)$$

În starea staționară, cînd fotogenerarea se realizează prin tranziția bandă-bandă ( $g_n = g_p$ ), în cazul semiconductorului de tip  $P(p \gg n)$ , dacă în regiunea considerată  $\partial E/\partial x = 0$ , pornind de la ecuațiile de mai sus, pentru purtătorii minoritari, se poate scrie

$$\begin{aligned} (n(x) - n_0(x))/\tau_n &= g_n(x) + \mu_n E \partial n / \partial x + \\ &+ (kT/q) \mu_n \partial^2 n / \partial x^2, \end{aligned} \quad (35)$$

iar pentru un material de tip  $N (n \gg p)$ , se poate scrie

$$\begin{aligned} (p(x) - p_0(x))/\tau_p &= g_p(x) - \mu_p E \partial p / \partial x + \\ &+ (kT/q) \mu_p \partial^2 p / \partial x^2 \end{aligned} \quad (36)$$

În domeniul joncțiunii propriu zise, un termen ce conține  $\partial E/\partial x$  trebuie să apară iar ecuația Poisson de asemenea trebuie luată în considerație. Soluția ecuației neomogene (35) are forma

$$\begin{aligned} \Delta n(x) &= n(x) - n_0(x) = \\ &= A \exp(x/L_1) + B \exp(x/L_2) + C(g_n(x)), \end{aligned} \quad (37)$$

unde  $C(g_n)$  este o funcție de rata de generare,  $A, B$  sînt constante care se determină din condițiile la limită, care depind de asemenea de  $g(x)$  iar  $L_1$  și  $L_2$  au forma [9]

$$1/L_1 = 1/2L_n \{[(E/E_c)^2 + 4]^{1/2} + E/E_c\}, \quad (38)$$

$$1/L_2 = 1/2L_n \{[(E/E_c)^2 + 4]^{1/2} - E/E_c\}, \quad (39)$$

unde  $L_n = ((kT/q)\mu_n\tau_n)^{1/2} = (D_n\tau_n)^{1/2}$  este lungimea de difuzie a electronilor iar  $E_c = (kT/q)/L_n$ . Cînd  $E = 0$ ,  $L_1 = L_2 = L_n$ .

Din situațiile care se întîlnesc în cazul heterojoncțiunii  $\text{Cu}_2\text{S} - \text{CdS}$  să o considerăm pe aceea cînd perechile electron-gol sînt generate în stratul de  $\text{Cu}_2\text{S}$ , ca strat frontal (fig. 10) [11]; rata de generare, ținînd seamă de dependența de  $x$  a fluxului de fotoni, se scrie

$$g_1(x) = \gamma \Phi_0 \alpha \exp(-\alpha x), \quad (40)$$

unde  $\Phi_0$  este fluxul unitar de fotoni la  $x = 0$ ,  $\alpha$  — coeficientul de absorbție a  $\text{Cu}_2\text{S}$  iar  $\gamma$  — eficiența cuatică ( $\gamma \leq 1$ ). Cînd relația (40) este valabilă se poate scrie

$$C(g_1(x)) = -\gamma \Phi_0 \alpha \tau_n \exp(-\alpha x) / (\alpha^2 L_n^2 - \alpha L_n (E/E_c) - 1). \quad (41)$$



Electronii ca purtători minoritari în  $\text{Cu}_2\text{S}$  joacă rolul esențial în apariția fotocurentului sau fototensiunii în heterojoncțiunea  $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$ . Conform soluției (37) și relației (41) rezultă că excesul de electroni creat prin absorbția luminii, are o distribuție care depinde de  $x$ , ca și de dis-

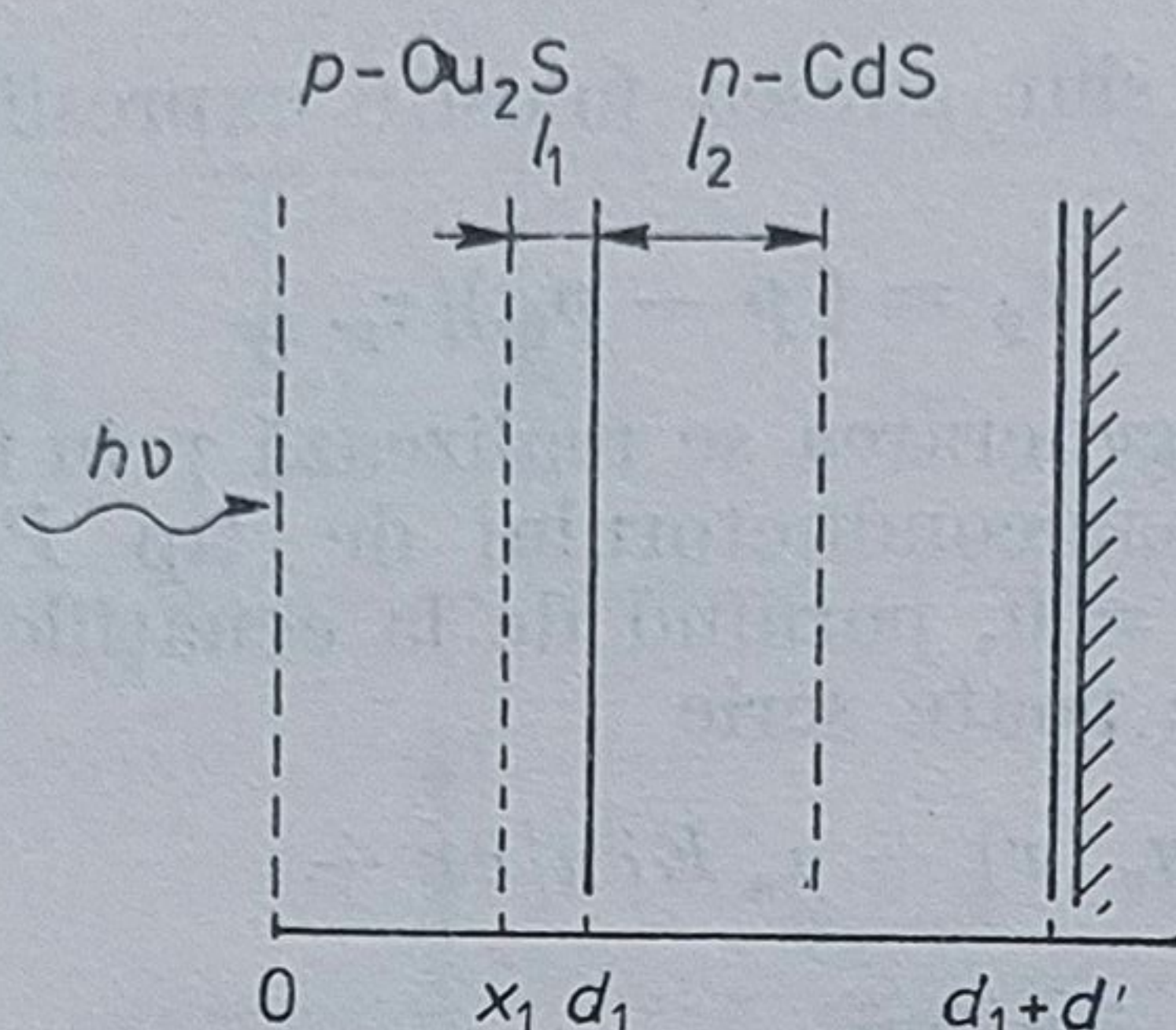


Fig. 10. — Structura geometrică a heterojoncțiunii  $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$ .

tribuția câmpului electric și configurația celulei. Pentru a determina constantele  $A$  și  $B$  sînt necesare două condiții la limită. Aceste condiții la limită depind, la rîndul lor, de procesele ce se desfășoară la suprafața semiconductorului și la interfața semiconductor-joncțiunea propriu-zisă. Prima condiție poate fi stabilită analizînd procesul de recombinare la suprafață. Electronii care ajung la suprafața  $\text{Cu}_2\text{S}$  pot să recombine. Rata de recombinare este egală cu  $s(n - n_0)$ , unde  $s$  este viteza de recombinare superficială. Rata de recombinare la suprafață, în stare staționară, trebuie să fie egalată de fluxul de electroni cu sensul dinspre volum spre suprafața semiconductorului

$$s(n - n_0)_{x=0} = \mu_n n E + (kT/q) \mu_n \partial n / \partial x. \quad (42)$$

A doua condiție poate fi stabilită luînd în seamă procesele din joncțiune, din regiunea câmpului joncțiunii ca și de la interfața semiconductor-joncțiunea propriu-zisă. În cazul heterojoncțiunii  $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$  câmpul joncțiunii ocupă de regulă o regiune relativ întinsă în  $\text{CdS}$ . Purtătorii de sarcină fotogenerați în  $\text{Cu}_2\text{S}$  care ajung prin difuzie în câmpul joncțiunii sînt separați de acesta; electronii sînt trecuți în  $\text{CdS}$ . Ia naștere astfel fotocurentul în heterojoncțiune. Cînd heterojoncțiunea nu este iluminată, în planul  $x_1$  (fig. 10) concentrația de echilibru a purtătorilor minoritari (electronilor) este egală cu  $n_0$ . Dacă pe o astfel de heterojoncțiune se aplică o tensiune directă constantă  $U$  atunci concentrația electronilor în  $x_1$  devine

$$n = n_0 \exp (qU/kT). \quad (43)$$

Această expresie este adevărată cînd în regiunea sarcinii spațiale și la interfață recombinarea purtătorilor este neglijabilă. Deși aproximativă relația (43) este în mod obișnuit folosită ca o condiție la limită. Din condițiile (42) și (43) se pot găsi expresiile constantelor  $A$  și  $B$  pentru oricare mod de operare (mod de funcționare) a celulei solare. Avînd dependența



$n(x)$  se poate calcula  $j_n$  care reprezintă peste 95 % din fotocurentul  $j_L$  în cazul celulei solare de  $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$ . Se poate considera deci

$$j_L \cong j_n, \quad (44)$$

iar pentru  $j_n$  se poate lua expresia [10]

$$j_n = [q\Phi_0\alpha_1^2 L_n / (\alpha_1^2 L_n^2 - 1)] \{ [(D_n + s/\alpha_1) / (D_n + sL_p)] \exp(-x_1/L_n) - \exp(-\alpha_1 x_1) \} + \\ + [(q\Phi_0\alpha_1 L_n) / (\alpha_1^2 L_n^2 - 1)] \text{th}(x_1/L_n + \theta) \cdot [\alpha_1 L_n (D_n + s/\alpha_1) / (D_n + sL_n)] \cdot \exp(-x_1/L_n) - (-\alpha_1 x_1), \quad (45)$$

unde  $\theta = sL_n/D_n$ . Expresia (45) este adevărată în lipsa unui câmp de drift în  $\text{Cu}_2\text{S}$  iar celula se caracterizează prin parametrii:  $d_1$  — grosimea stratului fotoactiv, de tip  $P$ ,  $d$  — grosimea stratului de tip  $N$ ,  $\alpha_1$  și  $\alpha_2$  — coeficienții de absorbție ai celor doi semiconductori,  $l_1 + l_2$ , grosimea regiunii sarcinii spațiale (joncțiunii propriu-zise) (fig. 10).

În cazul celulei  $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$ ,  $d_1$  ia valori între 0,1 și 0,4  $\mu\text{m}$ ,  $d$  ia valori între 20 și 40  $\mu\text{m}$  iar  $\alpha_1 \gg \alpha_2$ . După cum rezultă din relația (45) fotocurentul depinde de parametrii  $\alpha$ ,  $L_n$  și  $s$ .

## 2.2. Tensiunea de circuit deschis a fotoelementului (heterojoncțiune)

Cînd mecanismul de difuzie a fotopurtătorilor minoritari este dominant, tensiunea de circuit deschis a fotoelementului (heterojoncțiunii iluminate) are expresia (22). Totodată însă tensiunea de circuit deschis poate fi aproxi-

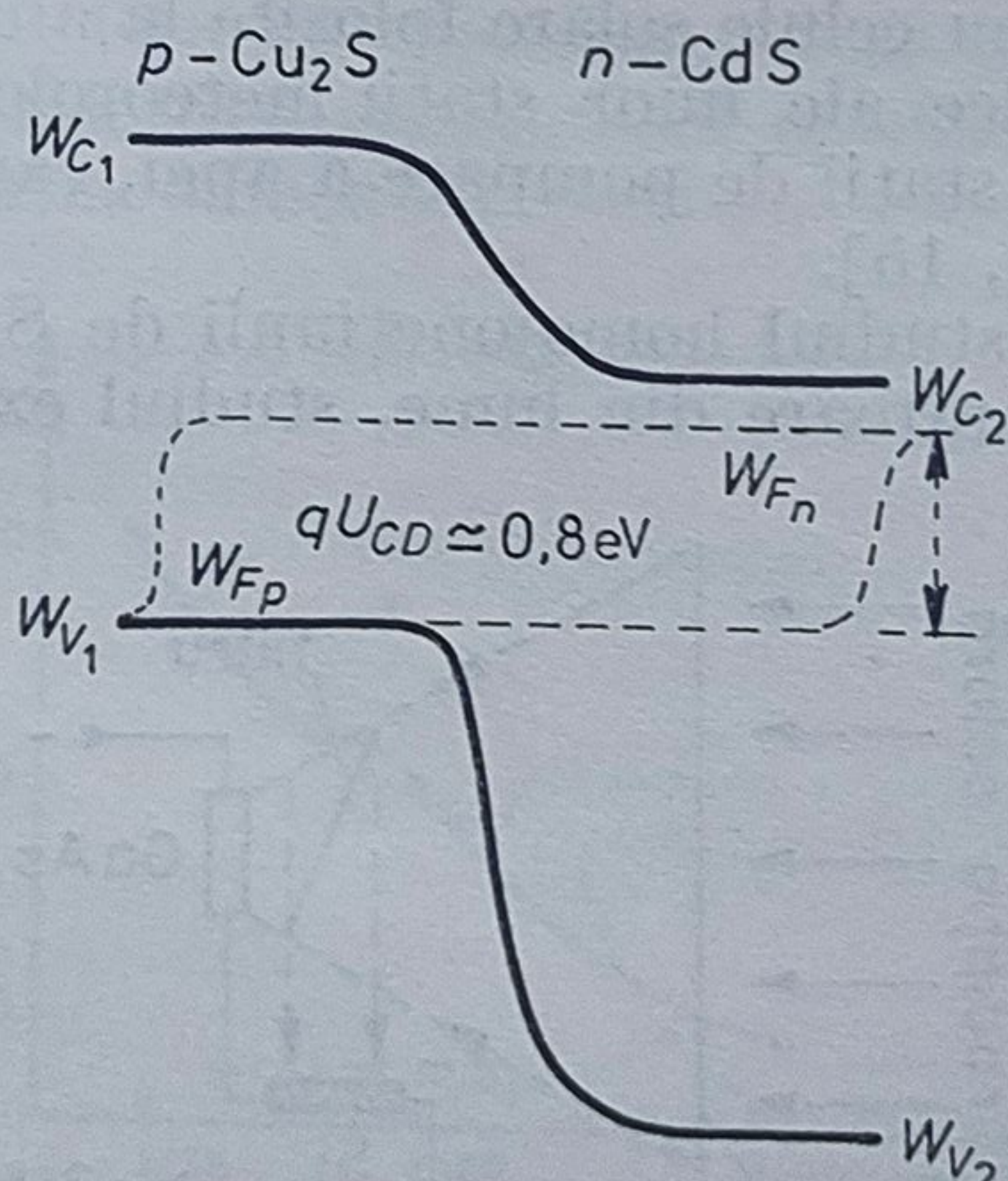


Fig. 11. — Structura energetică a heterojoncțiunii  $\text{CdS}-\text{Cu}_2\text{S}$ , iluminate

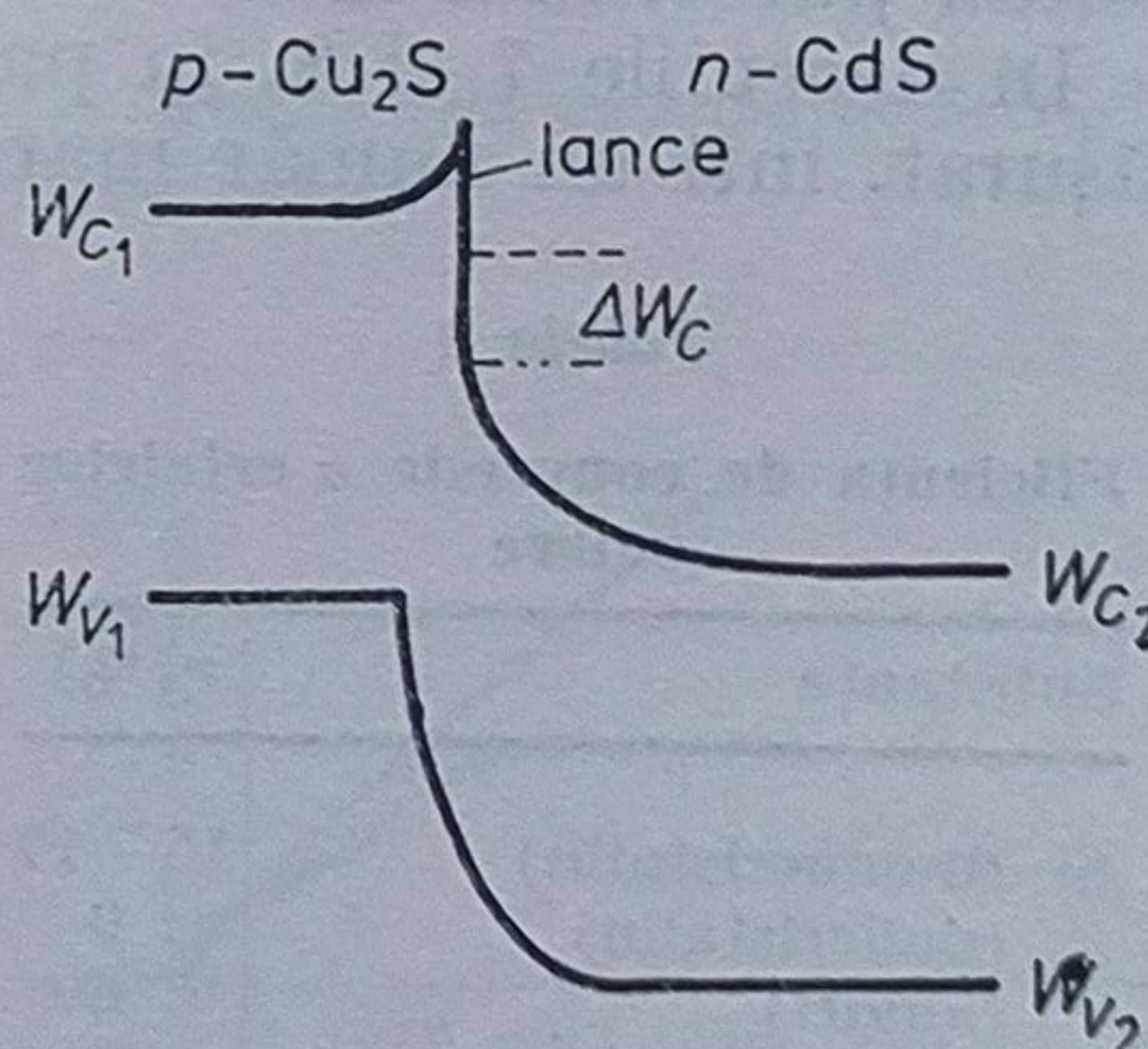


Fig. 12. — Structura energetică a heterojoncțiunii  $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$ .

mată ca diferența dintre cvasinivelele Fermi care caracterizează cele două materiale semiconductoare ale heterojoncțiunii iluminate (fig. 11)

$$U_{CD} \cong (1/q) (W_{Fn(\text{CdS})} - W_{Fp(\text{Cu}_2\text{S})}). \quad (46)$$



Întrucît  $W_{c1} - W_{Fn} \leq 0,4$  eV, rezultă pentru  $U_{CD} \leq 0,8$  eV. Din determinările experimentale se obține însă pentru  $U_{CD} \cong 0,5$  eV, valoare care poate conduce la presupunerea că la interfață intervine un salt în variația cvasinivelului Fermi  $W_{Fn}$  [11]. Drept cauză a acestui salt poate fi considerată recombinarea purtătorilor prin intermediul stărilor de interfață. Înțelegerea proceselor de la interfață este esențială pentru îmbunătățirea performanțelor celulelor solare. În acest sens Böer a reconsiderat teoria fotoelementelor de  $\text{Cu}_2\text{S} - \text{CdS}$  [12]. Rezultatele obținute de Böer pot fi rezumate astfel.

Din distribuția sarcinilor în joncțiune determinată de legăturile chimice nesatisfăcute („dangling bonds”) este dedusă existența unei lance în regiunea de racord al benzilor de conducție. De asemenea, saltul  $\Delta W_c$  care intervine în aceeași regiune este dedus din recombinarea purtătorilor prin intermediul stărilor de interfață (fig. 12).

### 3. Perspectivele folosirii în energetică a conversiei fotovoltaice a energiei solare

Efectul fotovoltaic și-a găsit una din primele aplicații la realizarea celulelor solare, pe bază de Si monocristalin, instalate pe primul satelit în 1958, care furnizau puterea electrică de 0,1 W, necesară funcționării unui radioemitor, la prețul de 100 000 \$ per  $\text{kW}_p$ .

De atunci, puterea bateriilor solare, instalate pe sateliți și nave cosmice, a crescut continuu ajungând în anii 1975 la peste 25 kW, prețul coborînd la 20 000 \$ per  $\text{kW}_p$  [13] iar în prezent, peste 100 kW la prețul 7 000 \$ per  $\text{kW}_p$  ( $\text{kW}_p$  = kilowatt la puterea de vîrf) [21].

De prin anii 1968 apar panourile cu celule solare folosite la alimentarea aparaturii electronice sau electrice ale unor stații meteorologice, stații de supraveghere a aeroporturilor, stații de pompare a apei, care nu necesitau puteri mai mari de 1 kW [14, 15].

În deceniile 7 și 8, în paralel cu studiul homojoncțiunii de Si, s-a desfășurat, într-un număr mare de laboratoare din lume, studiul experi-

Tabela 1

Eficiența de conversie a celulelor solare

Substanța	$\eta(\%)$
Si (monocristalin)	15–17
(policristalin)	9
(amorf)	6
GaAs	20
CdS	9–10
In–SnO/Si	12
CdS/InP	14

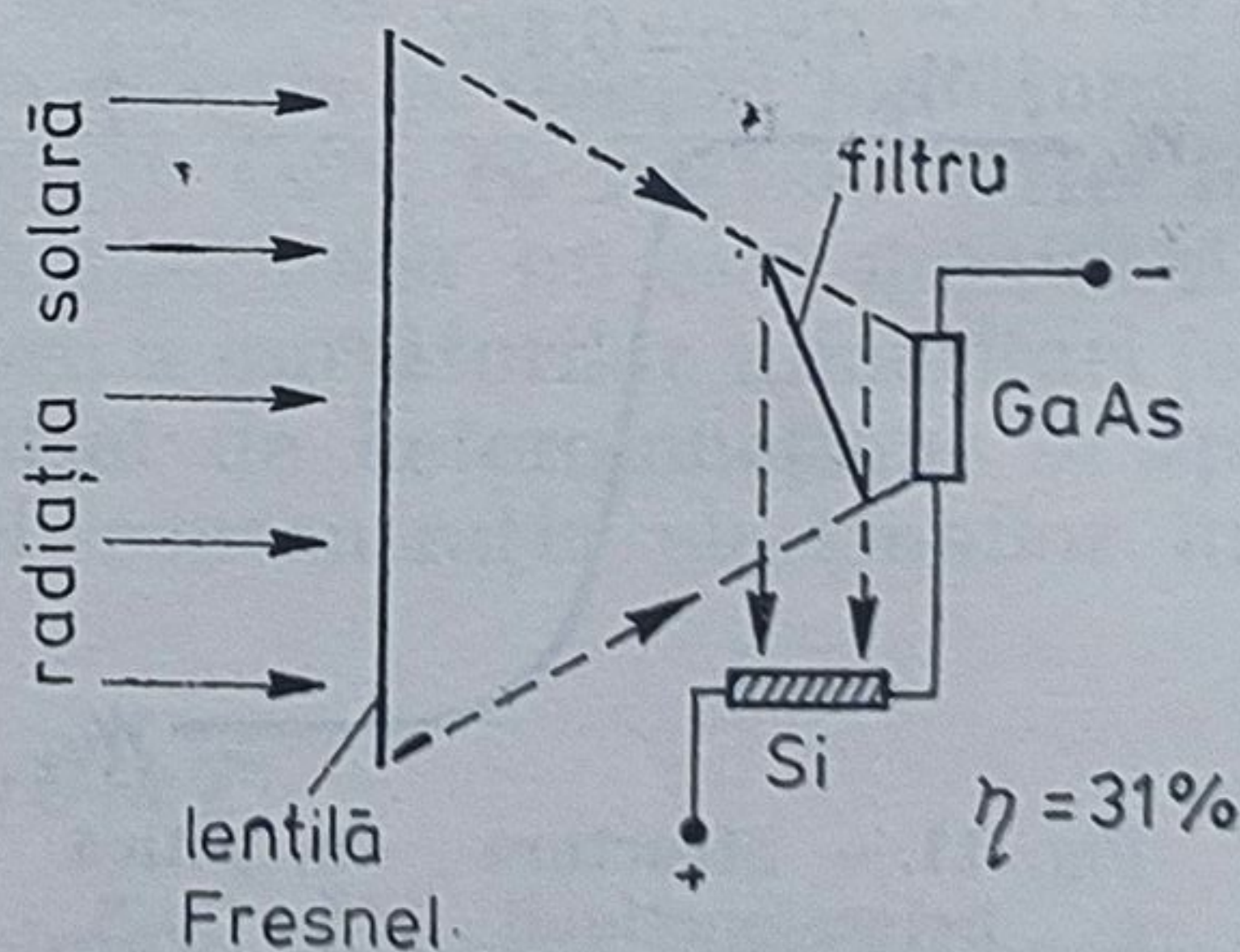


Fig. 13. — Schema instalației cu dublă celulă și lumină concentrată.

mental și teoretic al heterojoncțiunilor pe bază de GaAs, CdS, CdTe, CdSe, InP și alte substanțe precum și noi structuri fotovoltaice [3].



Un interes deosebit pentru conversia fotovoltaică a energiei solare îl prezintă substanțele înscrise în tabela 1 pe baza cărora se pot realiza celule cu eficiență de conversie relativ ridicată, înscrisă în coloana a 2-a [16, 17, 21].

În lumină concentrată performanțele dispozitivelor fotovoltaice sînt trecute în tabela 2 [21].

În figura 13 este redat montajul multicelulă (două celule solare care lucrează în domenii spectrale diferite) și care asigură o eficiență de conversie de 31%.

După anul 1973, anul declanșării crizei petrolului, rezultatele înscrise în tabelele 1 și 2, cunoscute sau previzibile la acea dată, au început să prezinte nu numai interes strict științific sau legat de aplicațiile speciale la scară mică, amintite, ci au atras atenția prin perspectiva pe care o deschideau pentru conversia energiei solare în energie electrică la scară mijlocie și mare.

Tabela 2

Performanțele sistemelor fotovoltaice în lumină concentrată			
Tehnologia	Concentrarea radiației	Eficiența de conversie, %	
		realizată	posibilă
Si			
$P^+-N$	25 ÷ 100	15	17
BSF $P^+-N-N^+$	50 ÷ 200	18	20 ÷ 21
GaAs			
joncțiune simplă	500 ÷ 2 000	23	24 ÷ 26
multistrat	500 ÷ 2 000		30 ÷ 40
Multicelulă (GaAs + Si) cu separare spectrală	500 ÷ 2 000	31	31 ÷ 35

Varianta fotovoltaică de conversie directă a energiei solare în energie electrică cu ajutorul celulelor semiconductoare a început să intre în atenția oamenilor politici, economiștilor, a oamenilor care coordonează

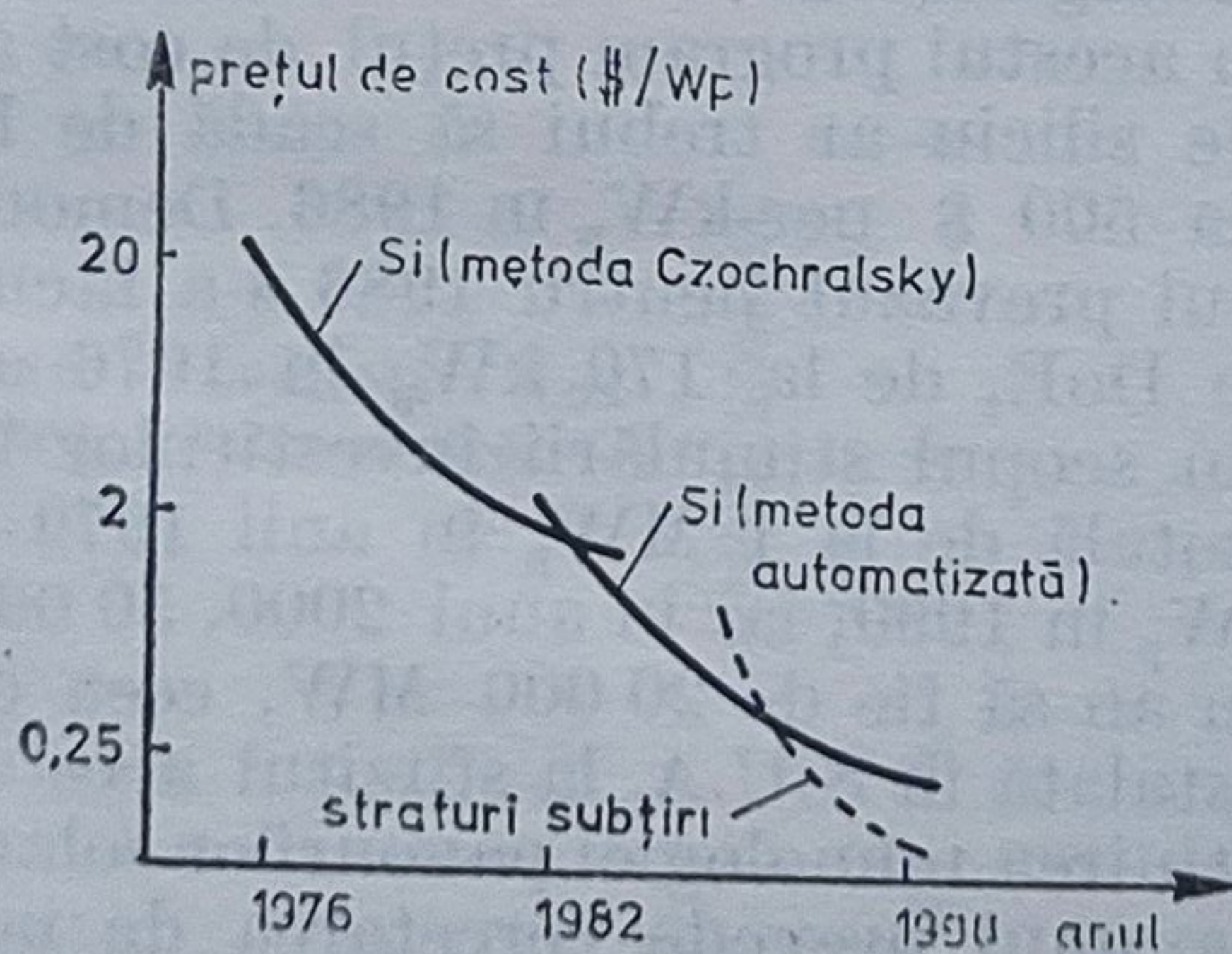


Fig. 14. — Evoluția prețului de cost al celulelor solare.

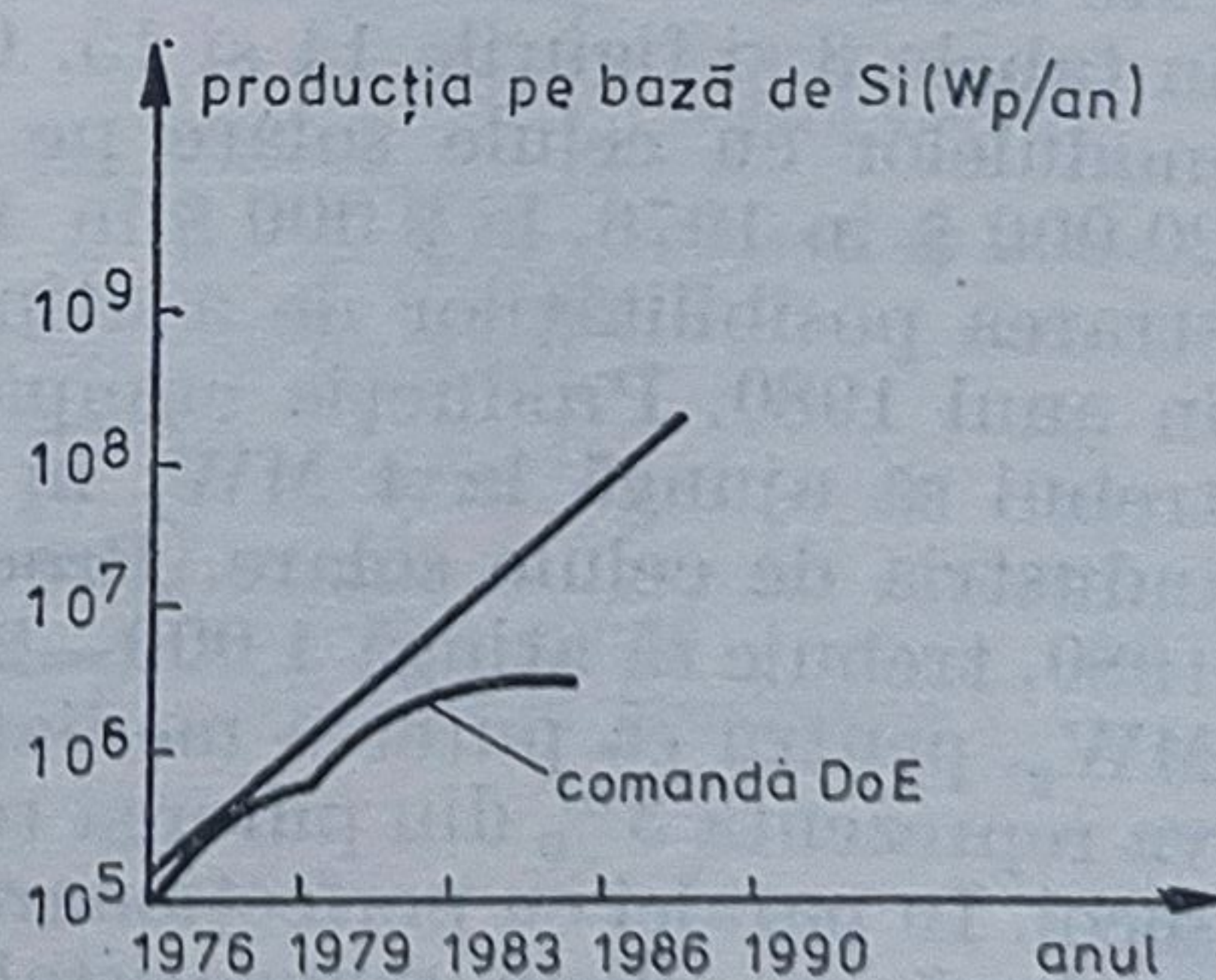


Fig. 15. — Evoluția producției celulelor solare.

activitatea industrială, a organismelor specializate guvernamentale, a unor guverne, a unor organisme O.N.U., în vederea evitării marii crize de energie prevăzută pentru anii de după 2000.



Amenințate cu epuizarea resurselor fosile de combustibil, pe de o parte, pe de altă parte, atrase de faptul că energia solară este nepuizabilă și practic la îndemână în orice regiune de pe suprafața globului, multe țări au trecut la studii complexe de prognoză privind posibilitatea folosirii într-o formă rentabilă a energiei solare, în paralel cu încurajarea cercetărilor de laborator și a cercetărilor tehnologice.

În unele țări industrializate ca S.U.A., Franța, R.F.G., Japonia, în cadrul strategiei soarelui, au fost elaborate programe de cercetări și aplicații, pînă la faza de producție la scară mare a celulelor solare.

Centralele solare fotovoltaice au fost concepute atît în varianta care să permită funcționarea lor la suprafața Pămîntului, cît și în spațiul cosmic [13, 18].

Unul din programele pe termen lung, comunicat la Conferința internațională de electricitate solară de la Toulouse din 1976 [13] și reconfirmat la Conferința de energie solară fotovoltaică de la Berlin din 1979 [21],

Tabela 3

## Perspectivele producției de celule solare

Anul	1976	1980	1982	1983	1986
	Demonstrat				
Prețul bateriilor solare cu Si (S)	$\frac{20\ 000}{\text{kW}_p}$	$\frac{500}{\text{kW}_p}$	$\frac{2000}{\text{kW}_p}$	500	$\frac{500}{\text{kW}_p}$
Producția cumpărată de DoE	170 kW <sub>p</sub>	1 MW <sub>p</sub>		4MW <sub>p</sub>	
Materiale și dispozitive noi	Straturi subțiri	Eficiență strat. sub. 10 %			Preț dem. 100÷200 \$/kW <sub>p</sub>

este acela al Departamentului pentru energie (DoE) al S.U.A., sintetizat în tabela 3 și figurile 14 și 15. Conform acestui program prețul de cost al modulelor cu celule solare pe bază de siliciu ar trebui să scadă de la 20 000 \$ în 1976, la 2 000 \$ în 1982 și la 500 \$ per kW<sub>p</sub> în 1986. Demonstrarea posibilităților de a atinge prețul prevăzut pentru 1986 s-a făcut în anul 1980. Producția cumpărată de DoE, de la 170 kW<sub>p</sub> în 1976 ar trebui să ajungă la 4 MW<sub>p</sub> în 1983, în scopul stimulării investițiilor în industria de celule solare. Producția totală de la 1 MW<sub>p</sub> în anii 1979—1980, trebuie să atingă 1 000—2 000 MW<sub>p</sub> în 1990, iar în anul 2000, 50 000 MW<sub>p</sub>, pentru ca puterea mediată pe un an să fie de 20 000 MW, ceea ce va reprezenta 3% din puterea totală instalată în S.U.A. la sfîrșitul acestui secol. În paralel cu perfecționarea și ieftinirea tehnologiei panourilor solare pe bază de siliciu monocristalin, programul prevede cercetarea de noi materiale și dispozitive, între care și cele pe strat subțire (CdS—Cu<sub>2</sub>S) a căror eficiență de conversie trebuie să ajungă la 10% iar prețul lor de cost demonstrat să ajungă la 100—200 \$/kW<sub>p</sub> în 1986.

Un grup de studiu al Societății americane de fizică (APS), care a lucrat între anii 1977—1979, în raportul prezentat Oficiului pentru politica științei și tehnologiei, după ce ia în seamă cheltuielile pentru realizarea



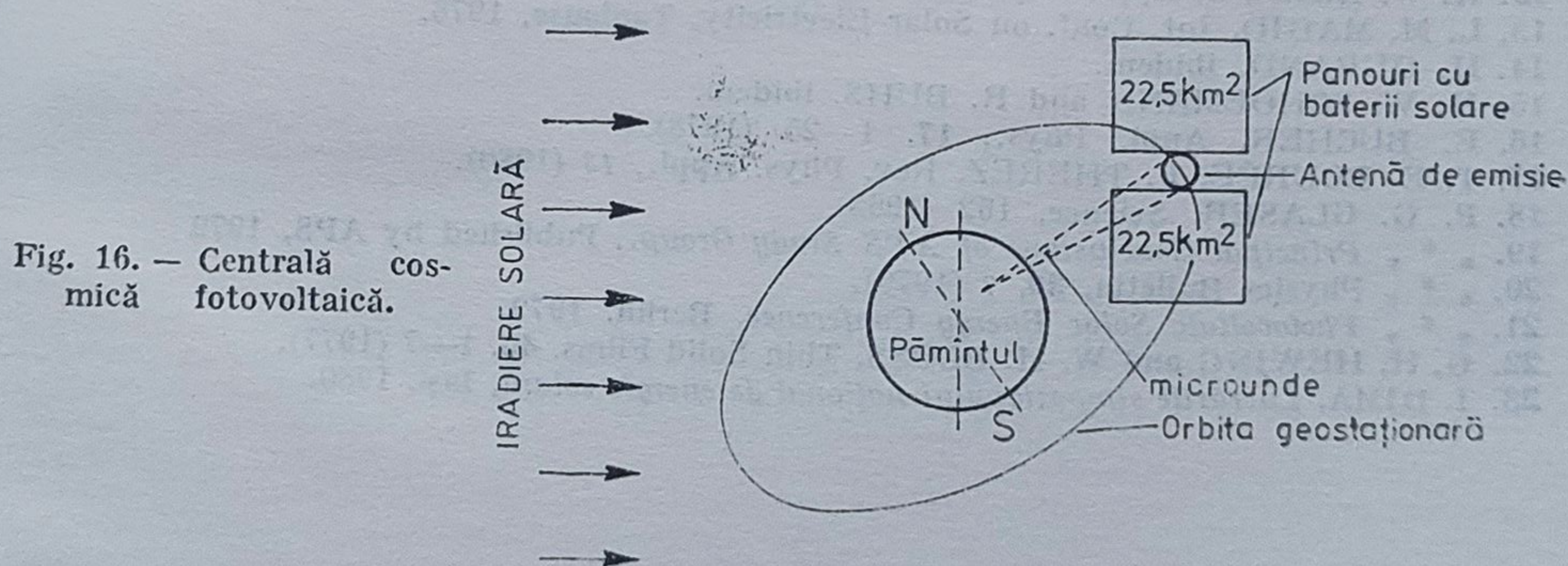
panourilor cu celule solare ca și pe cele legate de instalarea panourilor în teren, ajunge la concluzia că centralele solare fotovoltaice pot fi comparate ca preț de cost cu centralele electrice pe bază de cărbune abia în anii 2000—2030 [19]. Grupul consideră că industrializarea la scară mare a panourilor solare nu este încă oportună dar că în ultimul deceniu al acestui secol aceasta trebuie promovată în așa fel încât în anul 2000 centralele solare fotovoltaice să asigure 1% din puterea centralelor electrice instalate în acel an în S.U.A. Grupul recomandă intensificarea cercetărilor de laborator și a cercetărilor tehnologice, în vederea măririi eficienței de conversie a sistemelor fotovoltaice cunoscute, pe baza aprofundării cunoașterii proceselor fizice, în vederea descoperirii de noi materiale și structuri fotovoltaice, folosirii celulelor solare în lumină concentrată, scăderii prețului de cost al tuturor operațiilor tehnologice, de la obținerea fotocelulei până la instalarea centralei solare.

La Conferința de la Berlin din 1979 s-au preconizat limite mult mai largi în privința puterii centralelor solare instalate în anul 2000 în S.U.A. dar acest 1% a rămas ca un reper de bază.

La aceeași conferință s-a raportat că țările din CEE au desfășurat o activitate comună în domeniul fotovoltaic între anii 1976—1979 și că au convenit să continue această activitate în cadrul unui nou program de 4 ani în vederea industrializării la scară mare a celulelor solare.

Dintre programele naționale ale statelor amintite merită o mențiune specială cel al Franței orientat spre realizarea microcentralelor solare fotovoltaice pe bază de siliciu monocristalin, cu puteri de peste 1 kW, destinate alimentării pompelor de apă, folosite în zonele de deșert, în țările în curs de dezvoltare. De asemenea, trebuie amintit și programul R.F.G. orientat spre obținerea celulelor solare pe bază de Si monocristalin, policristalin sau amorf ca și pe bază de  $\text{Cu}_2\text{S}$ — $\text{CdS}$  strat subțire [21, 22].

DoE a desemnat un grup care să studieze posibilitatea instalării și în cosmos a unor centrale fotovoltaice, de la care energia să fie transmisă



pe Pământ cu ajutorul microundelor, folosindu-se în acest scop un proiect elaborat de Glaser încă din 1968 [18]. În figura 16 este prezentată schematic poziția față de Pământ a unei astfel de centrale, care ar urma să fie plasată pe o orbită geosincronă.

Grupul amintit, care a lucrat chiar sub președenția lui Glaser, a prezentat deja raportul cu concluzii favorabile în privința construirii, la



începutul secolului următor, centralelor solare fotovoltaice plasate în cosmos.

În țara noastră cercetarea conversiei fotovoltaice a energiei solare s-a înscris, încă din 1974, în programul național al soarelui coordonat de CNST [23].

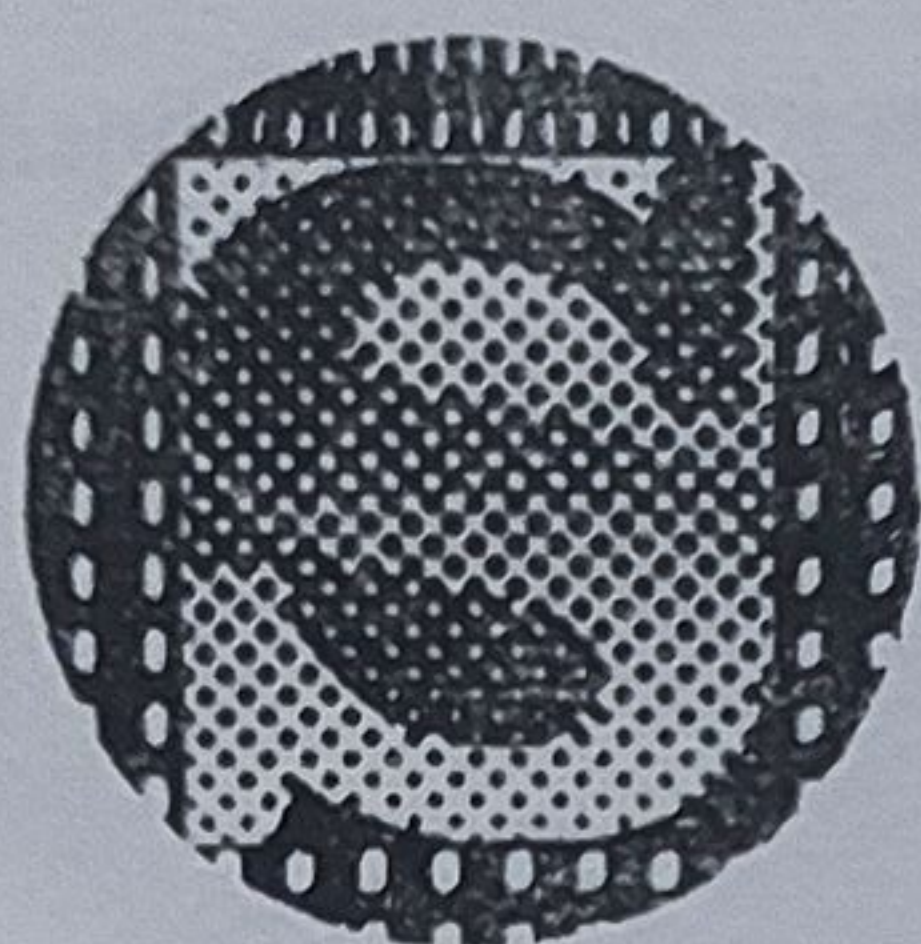
În cadrul Facultății de fizică din București, al IFTM și al altor institute, câteva colective cercetează celule solare pe bază de Si, CdS, GaAs, ajungând la performanțele obținute în alte părți ale lumii.

În deceniul în care am intrat se va trece la construcția de panouri solare cu fotoelemente semiconductoare studiate anterior. În același deceniu trebuie pregătită competiția cu alte surse de energie sub aspect științific, tehnologic, economic, social astfel ca în ultimul deceniu al acestui secol să se treacă la producția la scară mare a panourilor solare destinate instalării unor centrale solare.

### Bibliografie

1. M. MALIȚA C. MIHĂILESCU (sub redacția), *Energia în următoarele trei decenii*, Edit. Academiei, (1979).
2. W. PALZ, *Solar Electricity*, Ed. UNESCO (1978).
3. I. DIMA și I. LICEA, *Fenomene fotoelectrice în semiconductori și aplicații*, Edit. Academiei, (1980).
4. W. G. PFANN and W. van ROESBROOCK, *J. Appl. Phys.*, **25**, 11, 1422 (1954).
5. A. ROTHWARF, *Int. Conf. on Solar Electricity*, Toulouse (1976).
6. V. LAZAREV, *J. Appl. Phys.*, **50**, 12 (1979).
7. W. SCHOCKLEY, *Bell System Technical J.*, **28**, 435, (1949).
8. R. L. CUMMEROW, *Phys. Rev.*, **95** 2, 561 (1954).
9. R. A. SMITH, *Physics of Semiconductors*, Cambridge, 1968.
10. A. L. MILNES and D. L. FEUCHT, *Heterojunctions*, Academic New York, 1972.
11. A. ROTHWARF and K. W. BOER, *Prog. Solid State Chem.*, **10**, 71 (1975).
12. K. W. BOER, *J. Appl. Phys.*, **50**, 8 (1979).
13. L. M. MAGID, *Int. Conf. on Solar Electricity*, Toulouse, 1976.
14. H. DURAND, *ibidem*.
15. H. W. SCHOEMANN and R. BUHS, *ibidem*.
16. E. BUCHER, *Appl. Phys.*, **17**, 1—25 (1978).
17. T. E. BOURÉE, F. THEREZ, *Rev. Phys. Appl.*, **15** (1980).
18. P. G. GLASER, *Science*, 162 (1968).
19. \* \* \* *Principal Conclusions of APS Study Group.*, Published by APS, 1979.
20. \* \* \* *Physics Bulletin*, **30**, 7 (1979).
21. \* \* \* *Photovoltaic Solar Energy Conference*, Berlin, 1979.
22. G. H. HEWING and W. H. BLOSS, *Thin Solid Films*, **45**, 1—7 (1977).
23. I. DIMA, *Lucrările simpozionului național de energie solară*, Iași, 1980.





# Arhitectură și construcții solare



## DIRECȚII ÎN ARHITECTURA SOLARĂ

Sandu MICLESCU\*)

Evaluarea importanței utilizării radiației solare, ca sursă directă de energie în construcții, împarte în momentul de față, cercetătorii de arhitectură în două tabere cu puncte de vedere diametral opuse.

Unii susțin că încălzirea solară a edificiilor este exclusiv o problemă de instalații și că în consecință, ea nu va putea juca decât un rol cu totul secundar în evoluția concepției arhitecturale a construcțiilor. Din fericire, acești sceptici sînt din ce în ce mai puțini.

Marea majoritate a arhitecților consideră că, dimpotrivă, trecerea de la milenara concepție a „edificiului-scut”, menită să apere omul de neajazurile la care îl expuneau diferitele forme de manifestare a energiei din lumea înconjurătoare, la concepția ecologică a casei, va revoluționa profund, atât rezolvarea ansamblurilor, cât și alcătuirea construcției.

Fiind convins că dreptatea este de partea acestora din urmă, voi încerca să conturez direcțiile în care evoluează cercetătorii de arhitectură ce-și propun, ca parametri de bază, includerea și integrarea în bilanțul energetic al edificiilor pe care le proiectează, a energiilor naturale și în special a energiei solare. Din punct de vedere tehnic sînt foarte multe sisteme de captare în prezent bine puse la punct.

Sisteme pasive, sisteme active, folosind captori plani cu aer (fig. 1) sau cu apă (fig. 2), cu sau fără pompă de căldură, sisteme ce folosesc captori concentratori (fig. 3) sau, în pofida costului încă prohibitiv, chiar și sisteme ce folosesc conversia fotovoltaică. Instalațiile de captare, indiferent de tipul de conversie pe care îl utilizează sînt însă, în marea majoritate a cazurilor, gîndite autonom, independent, ne-integrate în alcă-

### Towards the solar architecture

The paper shows briefly some problems related to building energy consumption optimisation, from the point of view of architectural requirements.

The heliocaptor system integration in the solar house, wouldn't be achieved otherwise than by the effort of a multi-professional team. This team must be coordinated by a specialist who has an overall image of the structural, functional and esthetical of the building, that means by the architect.

\*) Institutul de Arhitectură „Ion Mincu” București.



tuirea construcției. Un număr mereu mai mare de arhitecți încearcă, prin reconsiderarea totală a parametrilor ce stăteau la baza concepției construcțiilor clasice, să realizeze *un nou tip de construcție, organic captoare*. Dificultățile sînt încă mari și implicațiile acestui nou mod de a considera spațiul construit sînt atît de ordin structural, funcțional, cît și plastic. Ele afectează deci întreg domeniul arhitecturii.

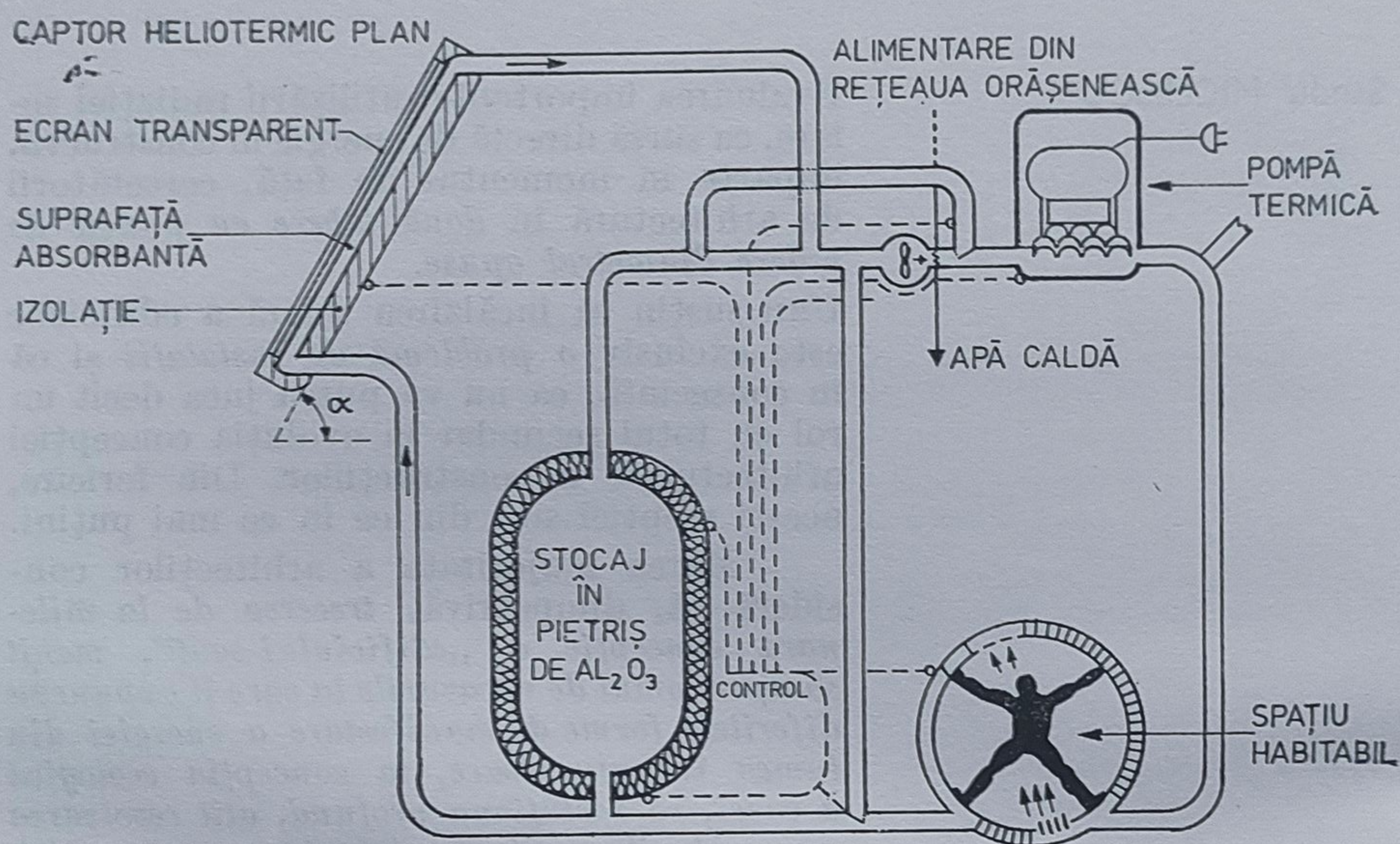


Fig. 1. — Schema unei instalații de captare cu aer.

Argumentele ce pledează însă, pentru *schimbarea radicală a filozofiei construcției prin acceptarea definitivă a concepției casei ecologice*, aflată într-o relație de colaborare și de echilibru energetic cu mediul natural asemenea unui organism viu, sînt pe cît de logice, pe atît de seducătoare.

Cîteva din aceste argumente ar fi :

1. Omul construiește direct proporțional cu explozia demografică, suprafețe din ce în ce mai mari, expuse soarelui. De pildă 100 000 apartamente convenționale deci, mai puțin de jumătatea din cît prevedea planul de construcții de locuințe al țării noastre pentru anul 1978, pot oferi prin intermediul parapetelor, a zonelor pline și a învelitorii cel puțin 2 km<sup>2</sup> de suprafață captoare. În cazul extrem de dezavantajos al unui bloc avînd 5 tronsoane cu cîte 4 apartamente la scară și 10 niveluri, suprafața de captare ce rezultă din utilizarea parapetului și a spaleților este de circa 11 m<sup>2</sup>/ap. convențional, suprafața aferentă obținută din utilizarea învelitorii circa 7 m<sup>2</sup>/ap. convențional, iar din folosirea timpanelor circa 2,5 m<sup>2</sup>/ap. convențional.



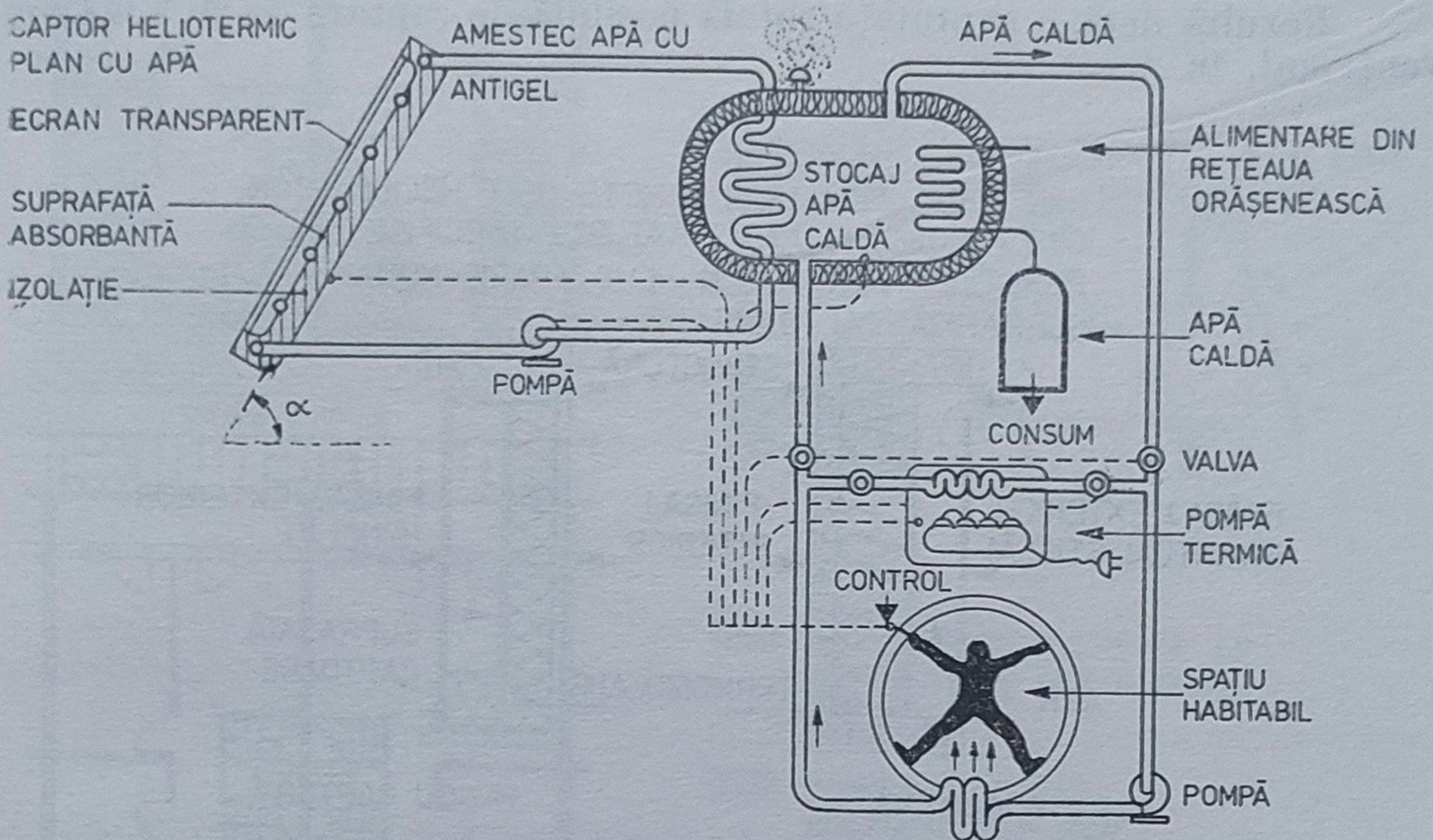


Fig. 2. — Schema unei instalații de captare cu apă.

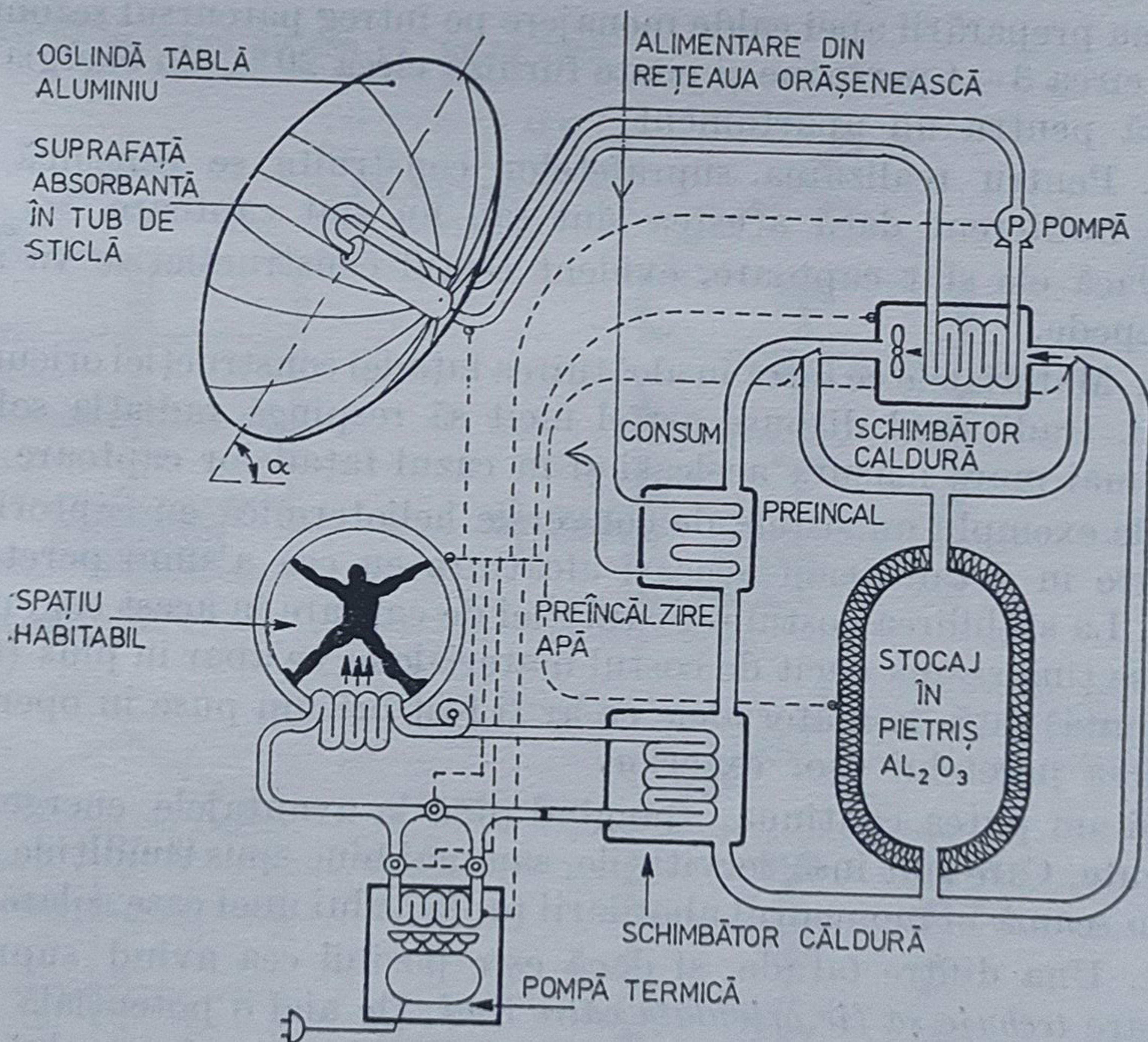


Fig. 3. — Schema unei instalații cu captori concentratori.



Rezultă deci, o suprafață totală posibilă de captare de  $20,5 \text{ m}^2$  convențional, în acest caz.

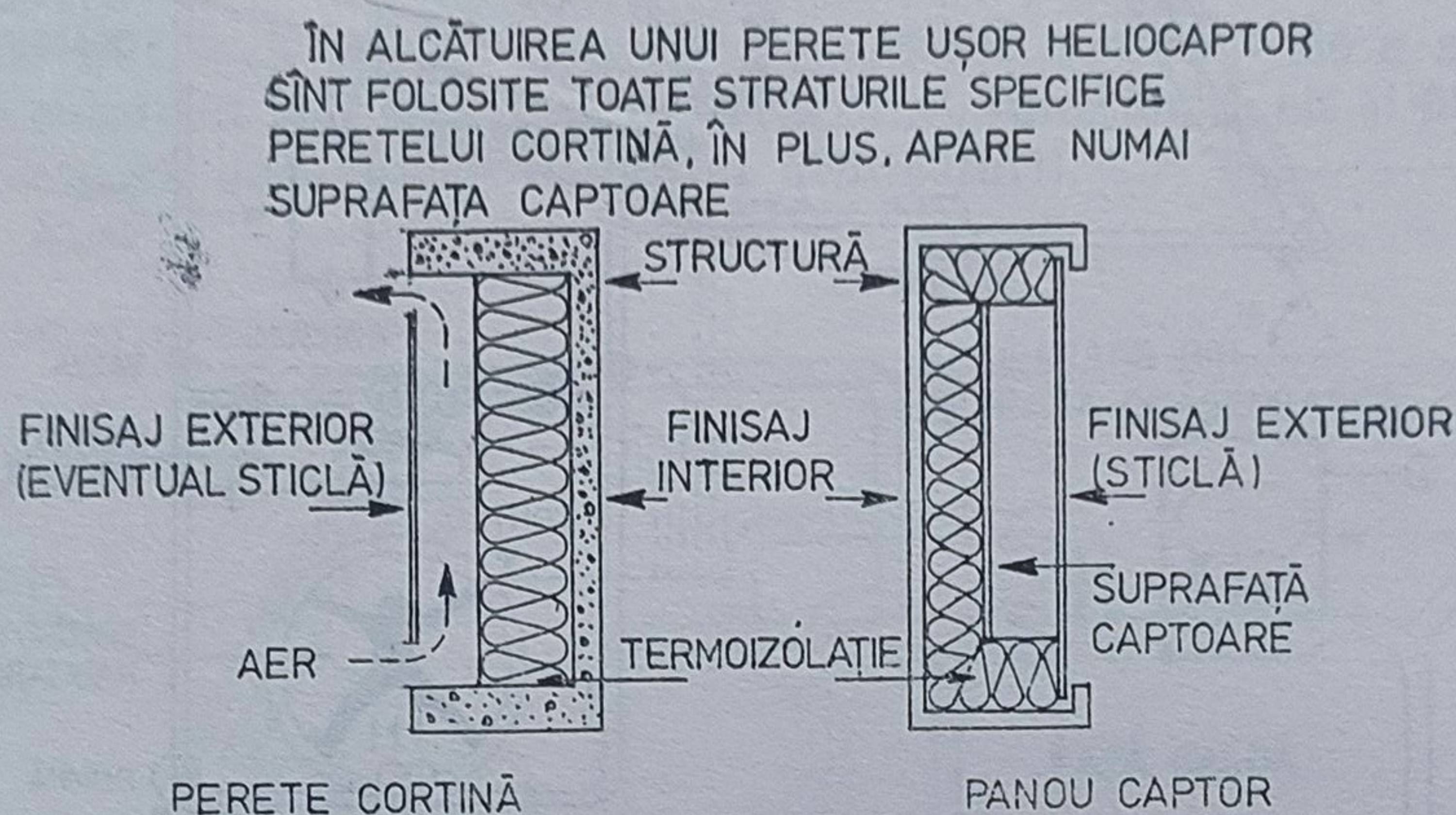


Fig. 4. — Comparație între alcătuirea unui panou captator plan și cea a unui perete cortină.

Utilizarea energiei solare incidente pe această arie, poate rezolva problema preparării apei calde menajere pe întreg parcursul sezonului cald pentru circa 3—4 persoane și poate furniza circa 20 % din energia termică necesară pentru un apartament.

2. Pentru realizarea suprafețelor construite se consumă bani și energie indiferent dacă acestea sînt sau nu sînt captoare.

Dacă ele sînt captoare, evident costul construcției se va amortiza mai repede.

3. Materialele ce intră în alcătuirea fațadei construcției oricum expuse soarelui, tradițional dispuse astfel încît să respingă radiația solară, sînt în cea mai mare măsură aceleași și în cazul fațadelor captoare.

De exemplu un sistem de conversie heliotermică cu captori metalici plani are în detaliu cam aceeași alcătuire cu cea a unui perete cortină (fig. 4). La stabilirea costului instalației de captare în acest caz, nu va trebui să se țină seama decît de costul materialelor ce apar în plus (suprafața absorbantă) față de materialele ce ar fi fost oricum puse în operă pentru realizarea peretelui ușor exterior.

Și am putea continua, ajungînd pînă la avantajele energetice bine-cunoscute. Care sînt însă servituțile, sau mai bine spus condițiile ce trebuie luate în seamă în momentul abordării proiectului unei case solare ?

1. Una dintre fațade, și dacă este posibil cea avînd suprafața cea mai mare *trebuie să fie orientată către Sud*. De aici o potențială rigiditate a ansamblurilor solare și o serie de dificultăți ce apar în rezolvările funcționale și de detaliu ale construcțiilor heliocaptoare.



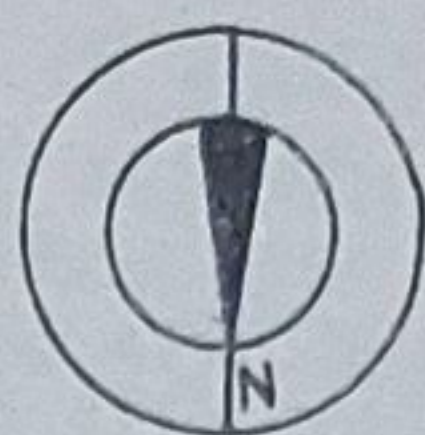
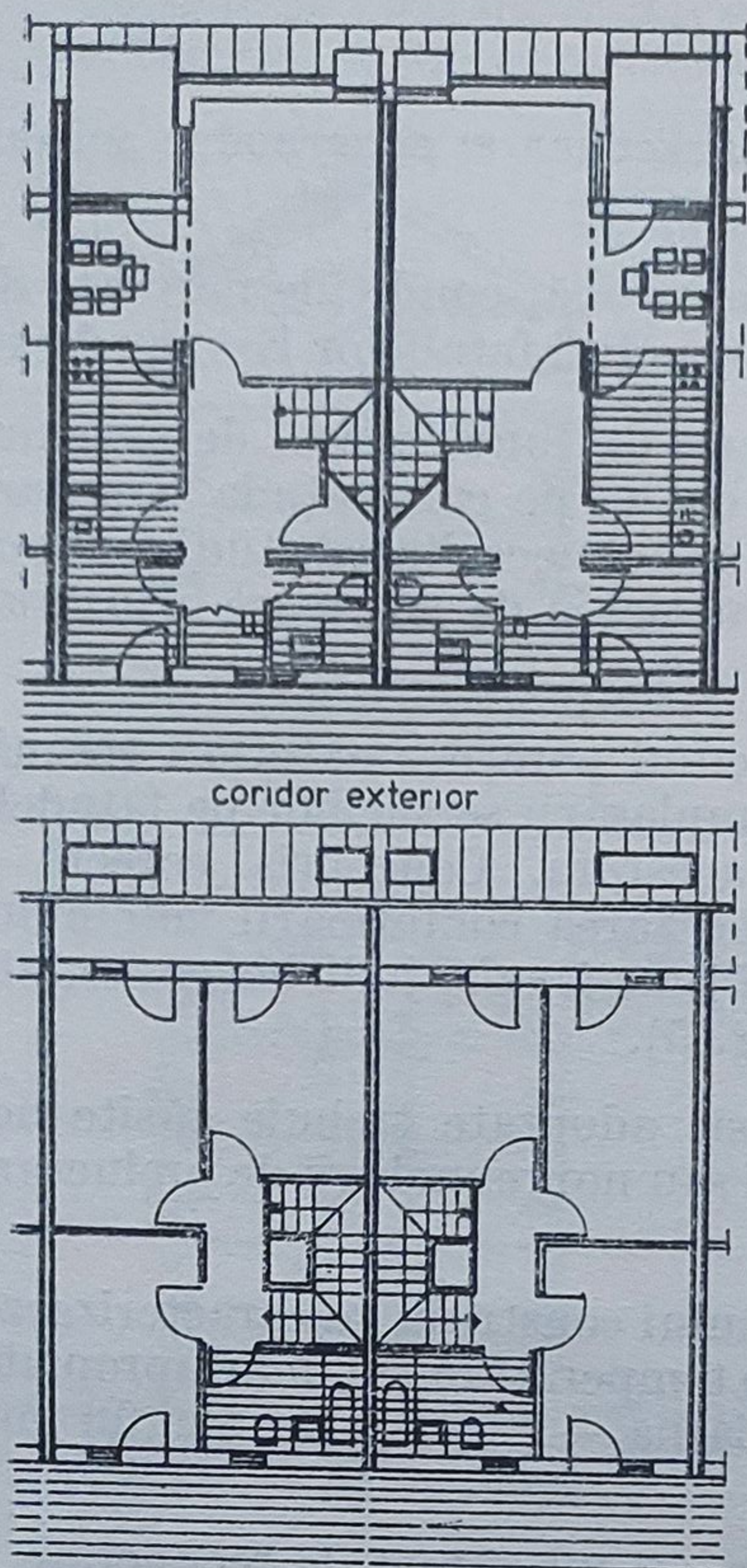
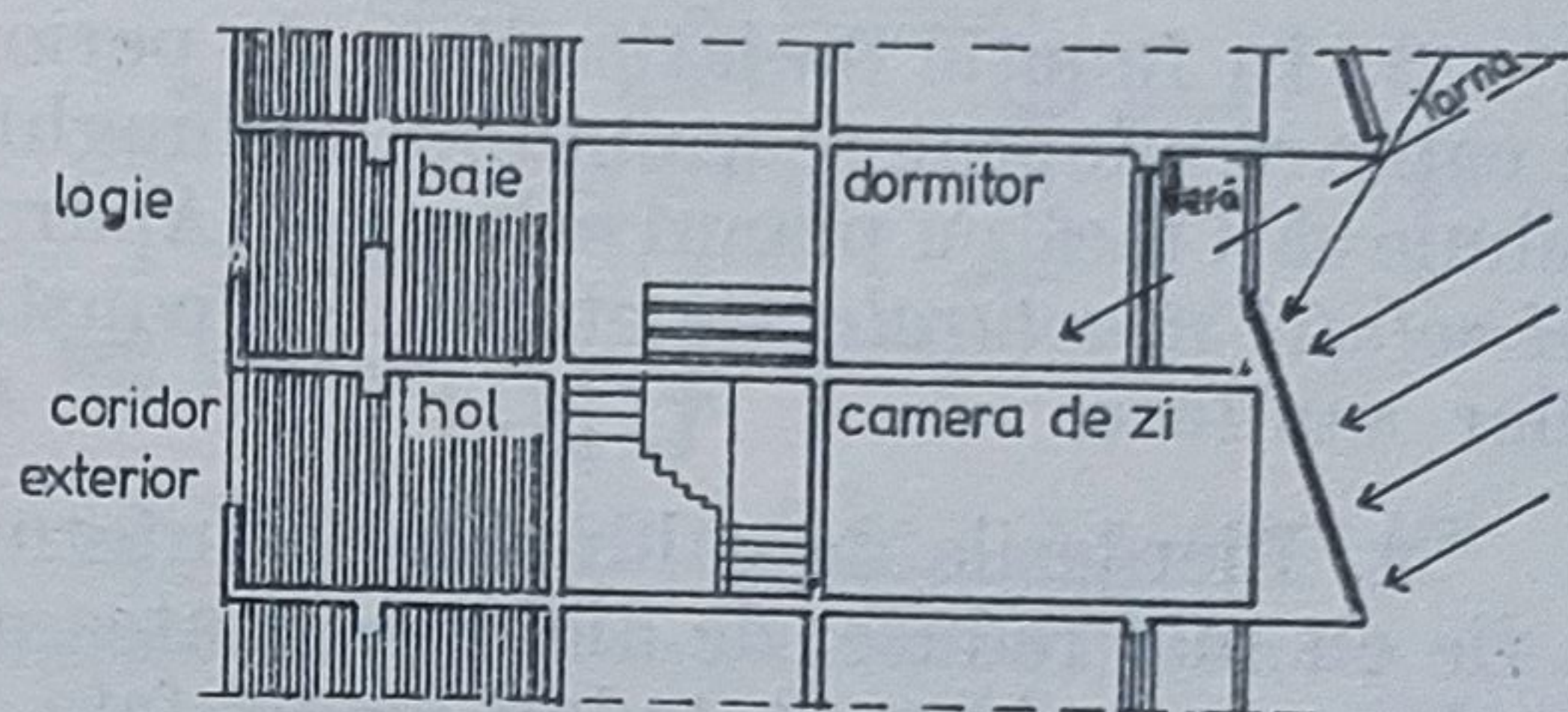
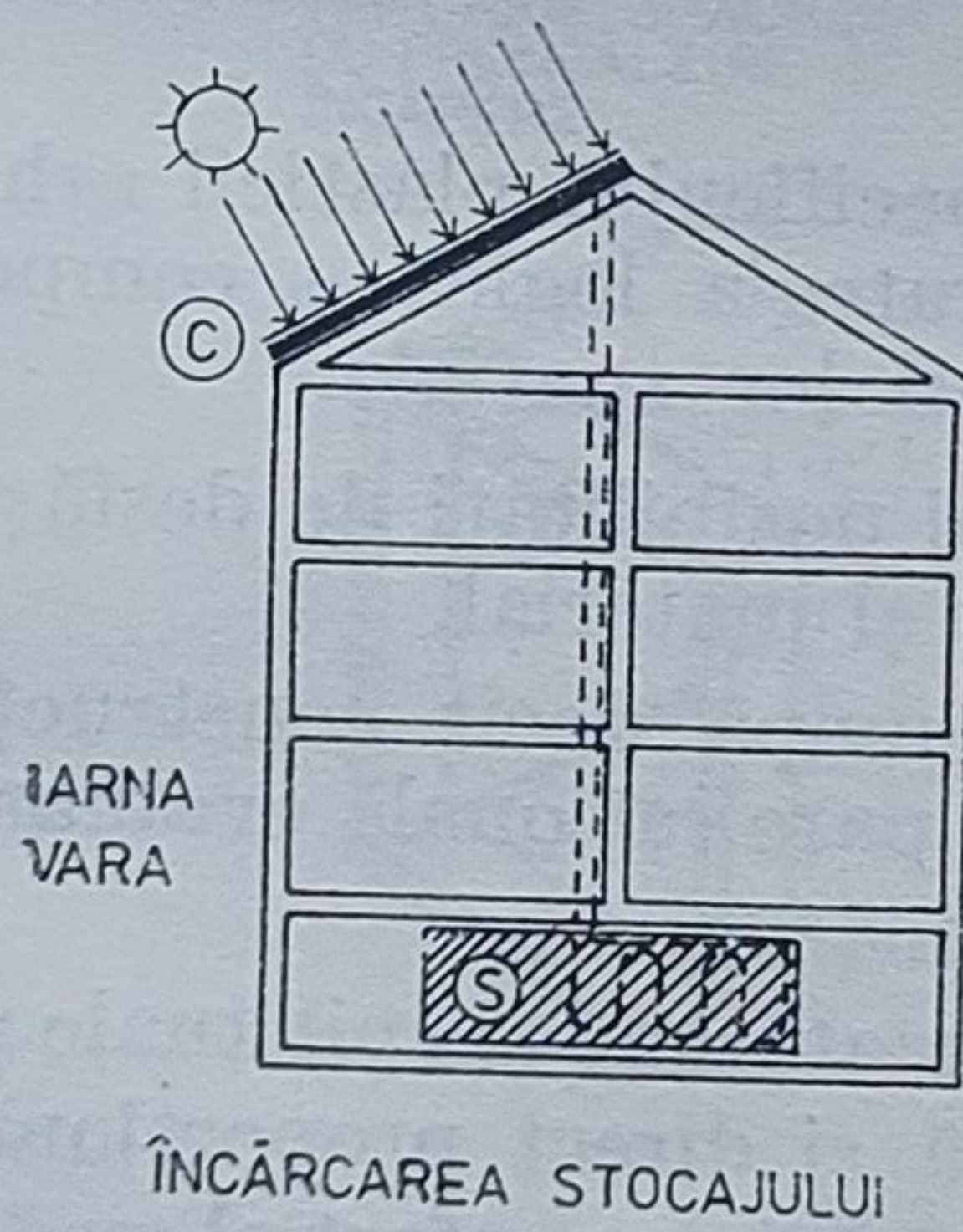


Fig. 5. — Posibilități de grupare termoeconomică a funcțiunilor unei locuințe.



- == SISTEM DE ÎNCĂLZIRE DE TIP CAPSULAT CU PERETI DUBLII
- SERĂ
- ▨ FUNCȚIUNI ANEXE: BUCĂTĂRIE, BAIE, GRUP SANITAR, VESTIBUL, DEPOZITARE
- ▤ ZONE RECI: CORIDOR EXTERIOR, CĂMARĂ, LOGIE ÎNCHISĂ
- SPAȚII DE LOCUIT

SISTEM DE ÎNCĂLZIRE CU AER DE TIP DESCHIS



CAPTATORI CU AER PENTRU ÎNCĂLZIRE ȘI PREPARAREA APEI CALDE DE CONSUM

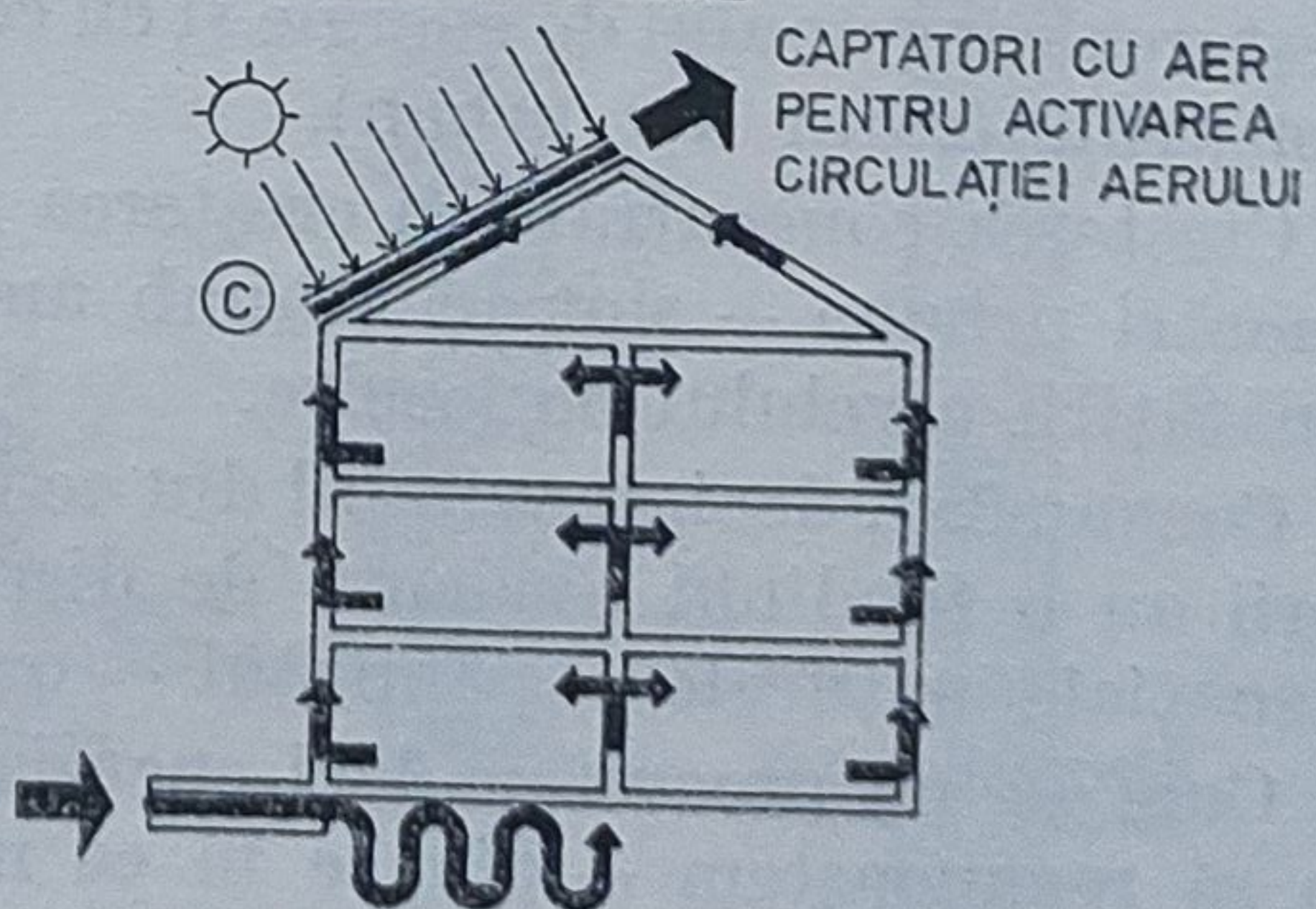
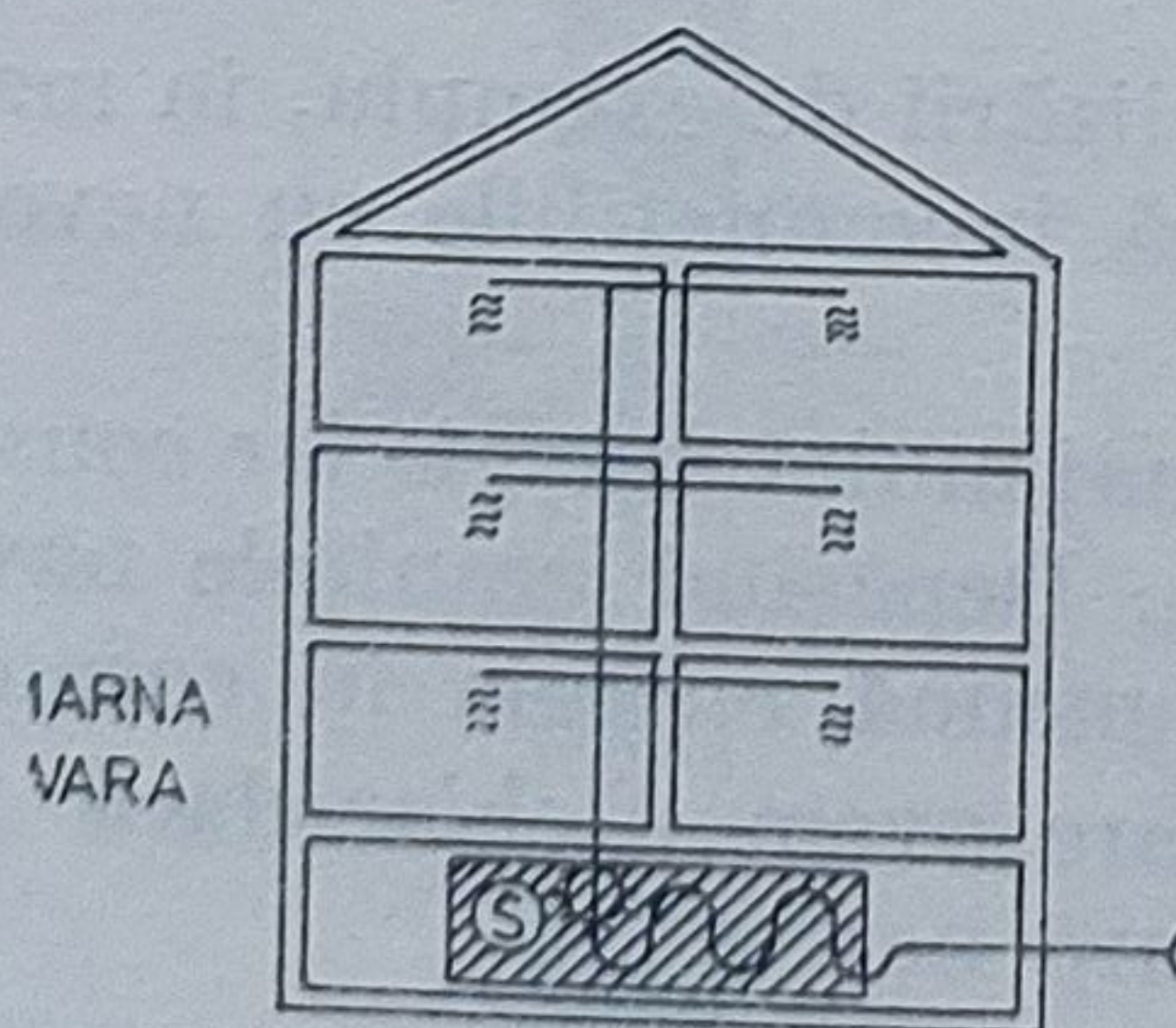
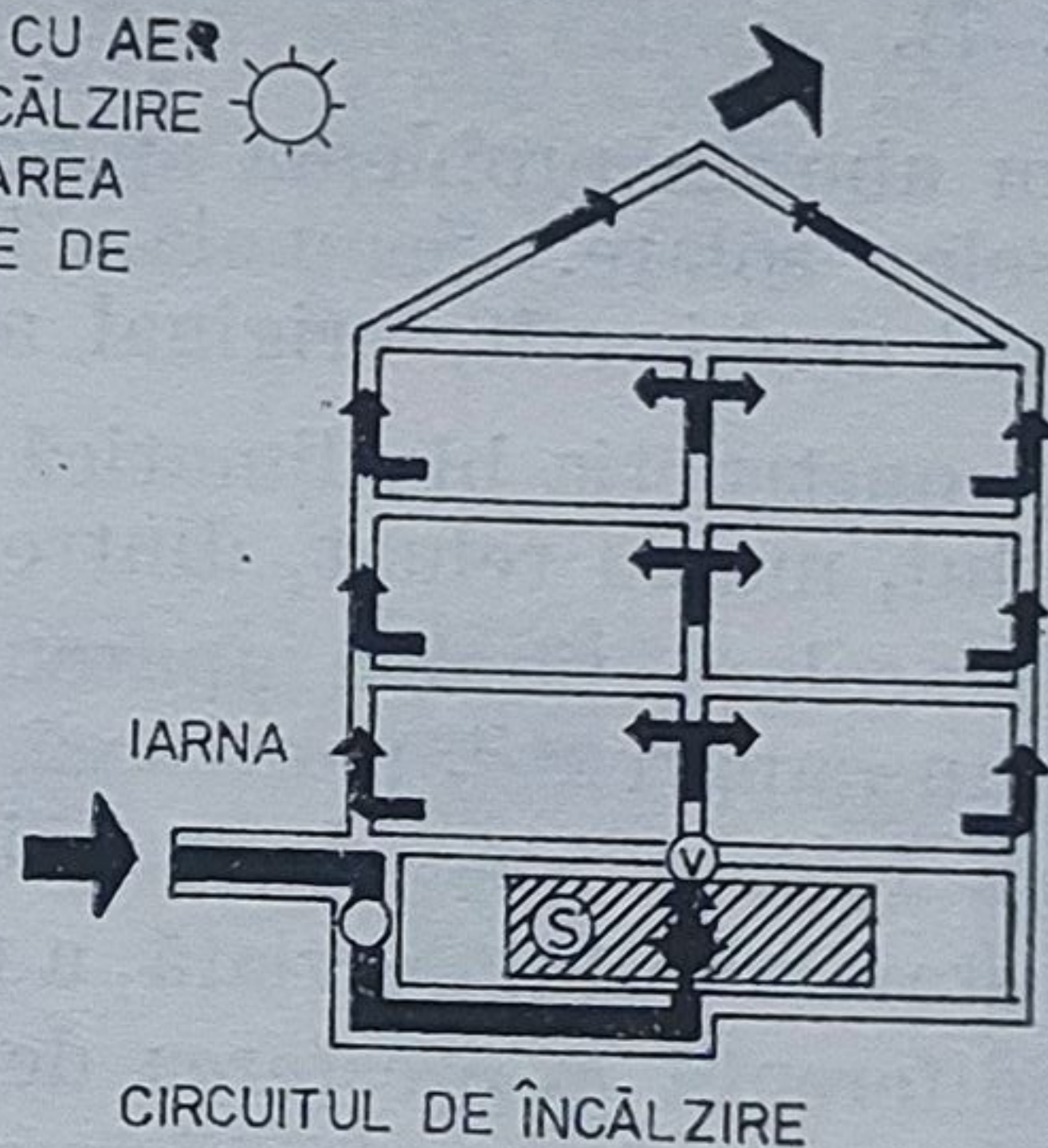


Fig. 6. — Sistem de încălzire cu aer cald utilizând ca volant termic terenul aferent construcției.



2. Fațada Sud, captoare, va fi cât mai opacă, condițiile normate de însorire a încăperilor realizându-se prin intermediul fațadelor Est sau Vest.

3. În funcție de latitudine, de perioada de funcționare, de sistemul de captare adoptat se va stabili un unghi optim pe care fațada captoare trebuie să-l facă cu planul orizontal. Apare astfel necesitatea studierii unor *noi soluții structurale*, de etanșare a construcției și de rezolvare a instalațiilor sanitare.

4. Pierderile de căldură prin intermediul pereților exteriori trebuie să fie cât mai reduse, de aici necesitatea amplasării serviciilor pe fațadele Nord, reducându-se totodată suprafața acestora. Concepția corectă a casei solare este, de aceea, legată de reanalizarea conformării volumului construit și de studierea unor *noi rezolvări funcționale*, judicios concepute și din punct de vedere termoeenergetic (fig. 5).

5. În funcție de tipurile de conversie adoptate trebuie găsite noi rezolvări de detaliu, utilizând materiale noi sau noi tehnologii de prelucrare ale materialelor tradiționale.

6. Instalațiile de încălzire, ale volumului construit, se caracterizează printr-un consum de energie termică la o temperatură cât mai apropiată de nivelul de confort — 26°C vara și 21°C iarna — (fig. 6). De aici un nou tip de instalații.

7. Casele solare trebuie să beneficieze de un sistem de recuperare a căldurii conținute în fluidele evacuate (aer viciat, ape menajere uzate). Apar alcătuiri noi ale elementelor constitutive structurale și nestructurale ale clădirii (fig. 7).

8. Nu vom aborda problema spinoasă a specificului plasticii arhitecturale a caselor solare. Semnalăm totuși strategia logică a compoziției lor, aspectul neobișnuit, original al imaginii lor spațiale.

Este cert, construcția bioclimatică oferă noi posibilități de desfășurare ale dialogului, mereu reluat, dintre arhitect și material.

Construcția solară rămâne aparent mai scumpă decât construcția tradițională. Spun „aparent”, pentru că nu mi se pare rațională evaluarea rentabilității, ei, folosind banul ca unitate de măsură.

Creșterea standardului de viață, a nevoilor materiale și spirituale ale omului, este indiferentă la creșterea demografică și direct proporțională cu creșterea consumului de energie și cu cea a nivelului de confort al mediului construit (rural sau urban).

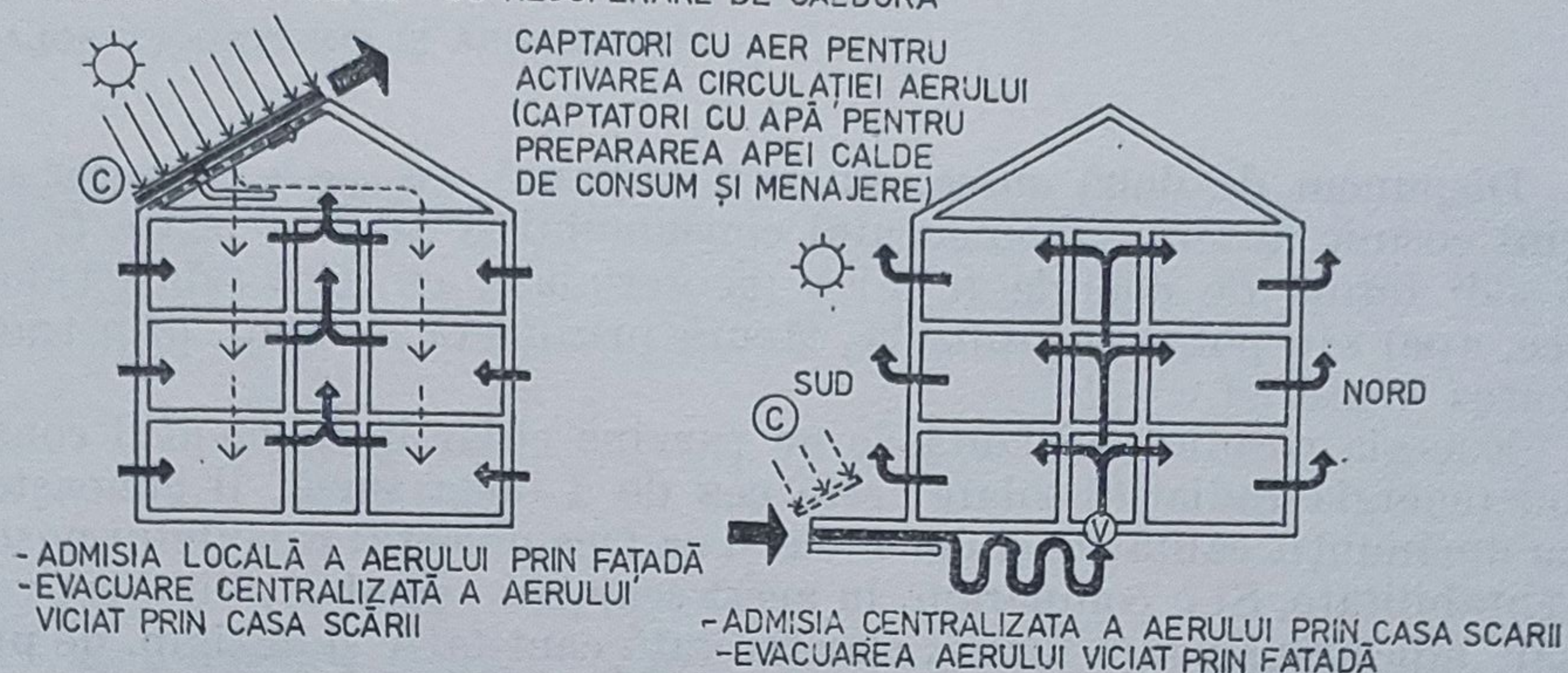
Creșterea concentrării și creșterea centralizării de exemplu, în mari aglomerări urbane — sînt în schimb amîndouă incompatibile cu nevoia îmbunătățirii nivelului de locuire.

Consumăm, deci, inevitabil din ce în ce mai multă energie iar consumatori au o tendință evidentă de dispersare. Depășind granițele navei sale spațiale naturale — pămîntul — omul consumă energie în cosmos.

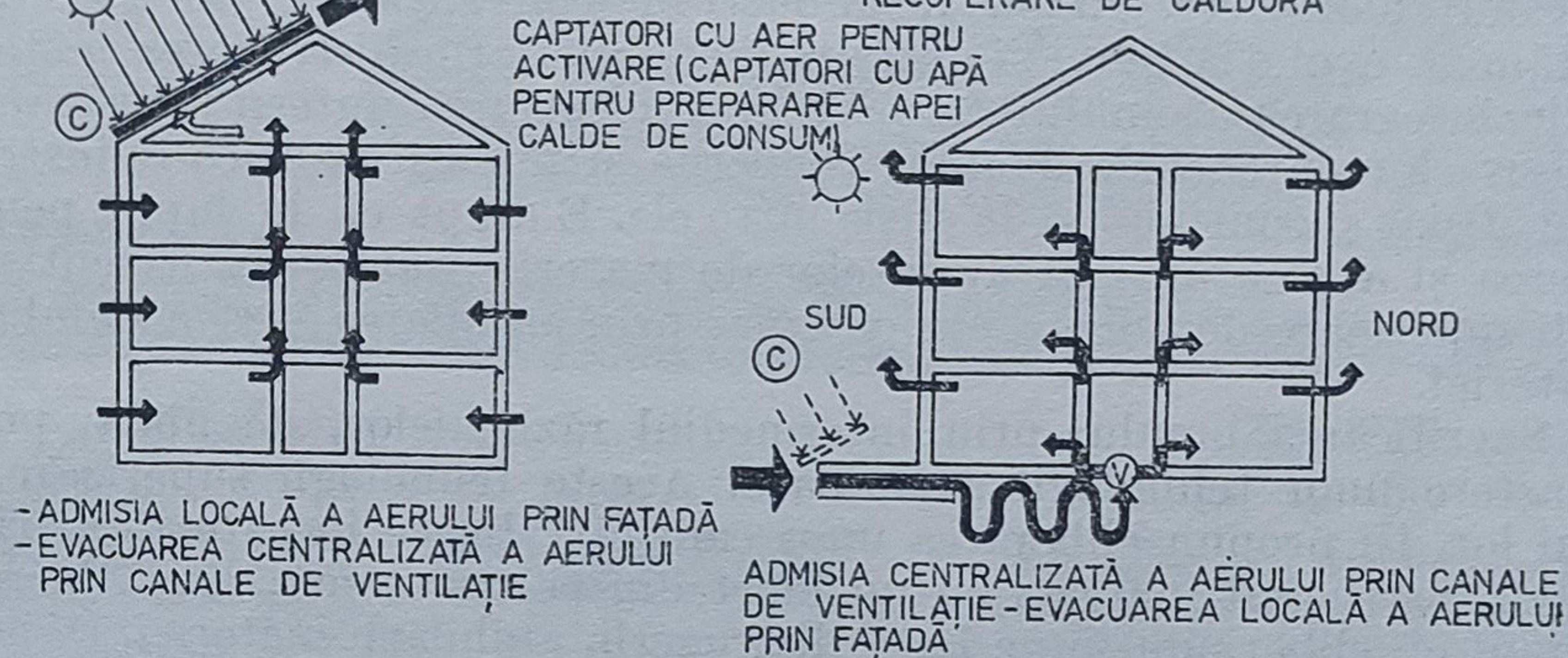
Cum să ne procurăm deci energia de care avem — chiar dacă nu vrem să recunoaștem — din ce în ce mai mare nevoie?



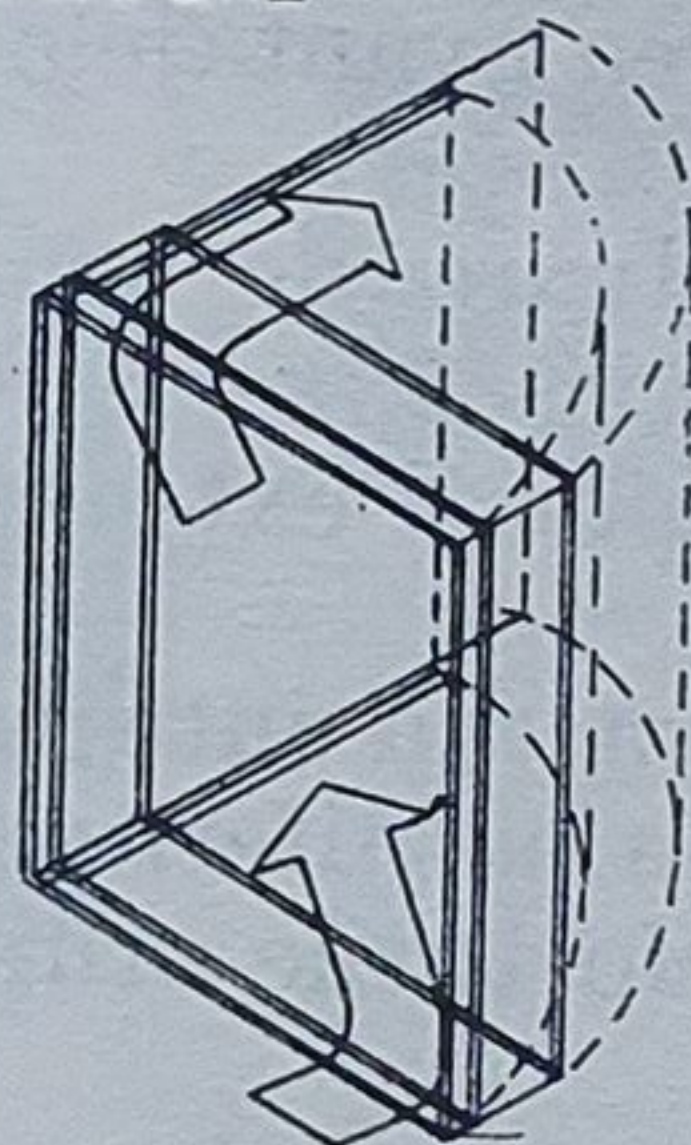
PROPUNERE DE CIRCULAȚIE CONTROLATĂ A AERULUI  
UTILIZÂND CASA SCĂRII - CU RECUPERARE DE CĂLDURĂ



PROPUNERE DE CIRCULAȚIE CONTROLATĂ A AERULUI UTILIZÂND CANALE DE VENTILAȚIE - CU  
RECUPERARE DE CĂLDURĂ



CIRCULAȚIA CONTROLA-  
TĂ A AERULUI PRIN  
TIMPLĂRIE ȘI ADMISIA  
CU PREÎNCĂLZIRE ÎN  
ÎNCĂPERE



CIRCULAREA AC-  
TIVATĂ SOLAR,  
CONTROLATĂ, A AER-  
ULUI PRIN PARA-  
PET ȘI ADMISIA  
ÎN ÎNCĂPERE CU  
PREÎNCĂLZIRE

CIRCULAREA  
CONTROLATĂ A  
AERULUI PRIN PE-  
RETELE EXTERIOR  
LA NIVELUL INFE-  
RIOR, ACTIVATĂ SO-  
LAR ȘI ADMISIA ÎN  
ÎNCĂPERE CU PRE-  
ÎNCĂLZIRE

ADMISIA CONTROLA-  
TĂ A AERULUI  
PRIN CANALE DE  
VENTILAȚIE ÎN PE-  
REȚI INTERIORI

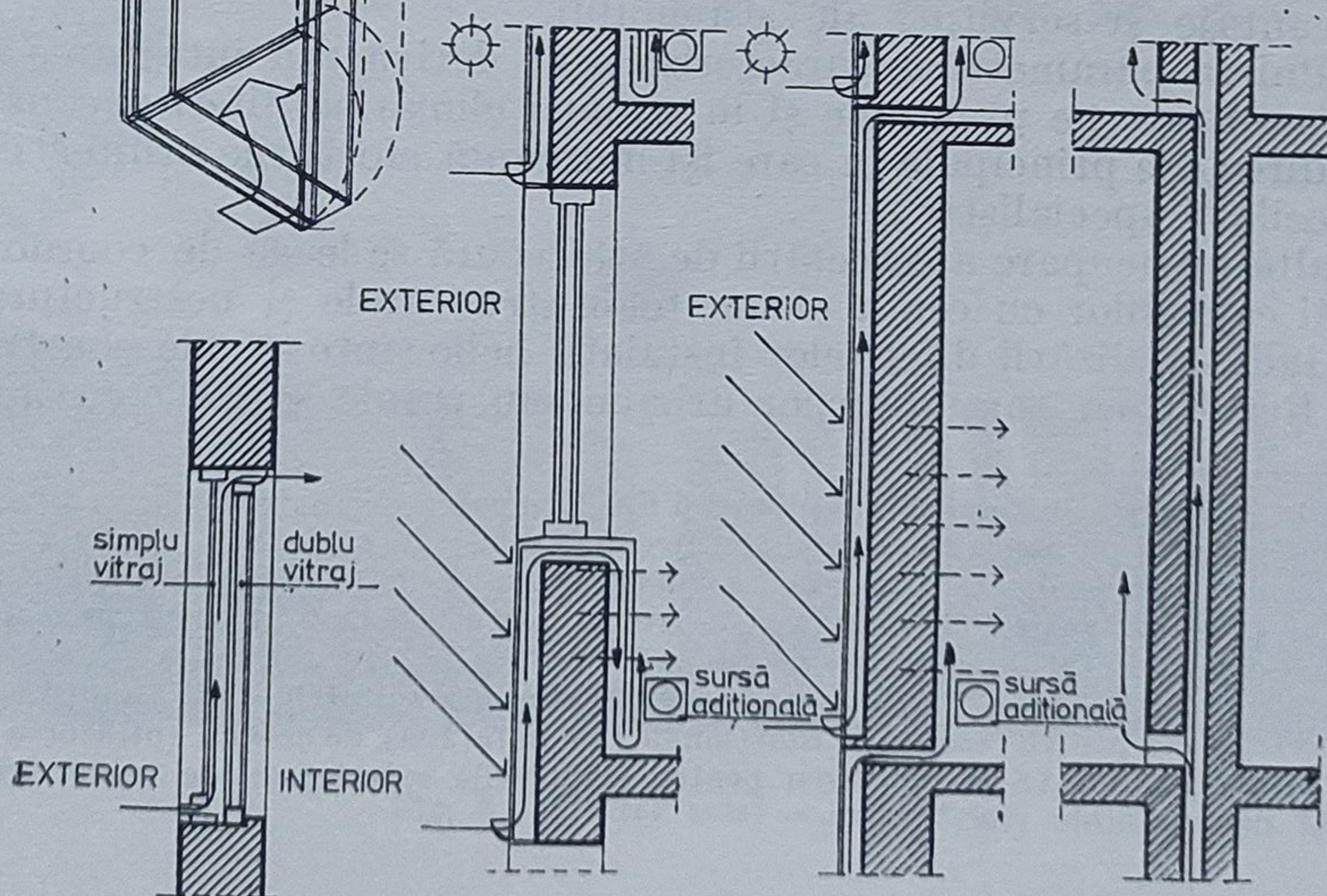


Fig. 7. — Sistem de climatizare cu circulație a aerului prin pereți.



Disponem de două surse. Energia radiantă ce ne-a parvenit din spațiul cosmic anterior momentului consumului și aceasta poate fi stocată sub formă de energie termică (geotermică), cinetică (vânt, valuri, marea, ape) sau poate fi fosilizată, făcută prizonieră în timp, prin transformarea materiei.

Energia cosmică radiantă ce ne parvine chiar în momentul consumului (energia radiației solare) este cea de a doua sursă, îi cunoaștem acum amănunțit calitățile și defectele și ea face obiectul calculului nostru de rentabilitate. Și o comparăm, în acest scop, cu „combustibilul convențional” adică cu singura formă, clar limitată cantitativ și în timp, de producere a energiei!

Cînd folosim ca etalon „combustibil convențional” ar trebui să nu uităm că evoluția tehnicii extragerii energiei prin distrugerea materiei (foc, dezintegrarea atomului), a adus la concentrarea puterii prin stăpînirea resurselor de energie în mari concerne și imperii politico-industriale ce s-au sfîșiat și continuă să se sfîșie între ele. E drept că în lupta pentru obținerea și exploatarea zăcămintelor de materii prime s-au născut tehnologii superioare de eliberare a energiei prin anihilarea însă a omului și a materiei.

Sacrificarea omului prin intermediul războaielor, de pildă, poate da naștere unor tehnologii superioare. Aceste tehnologii superioare, la rîndul lor, își propun eliberarea unor cantități din ce în ce mai mari de energie, distrugînd materia cu un efort din ce în ce mai mic. Energia, la rîndul ei, eliberîndu-se pe baza distrugerii, anihilării materiei, se pune problema zăcămintelor de materii prime.

Lupta pentru stăpînirea resurselor de materii prime, declanșează războaie care duc la sacrificarea omului. Și așa, cercul se încheie spre a se redeschide iar. Și tot așa mereu. Cred că acesta e cercul, extrem de vicios, ce trebuie să între cu pondere mare, în cîntărirea avantajelor și a rentabilității energiei solare.

Fiecare program de arhitectură — sau rezolvare de urbanism — în momentul în care este abordat, să zicem „solar”, ridică o, serie de condiții ce-i sînt specifice. Din analizarea acestor condiții pot fi extrase în continuare avantaje și servituți ale sistemului.

Definirea parametrilor caracteristici ce derivă din integrarea sistemelor de captare, pe programe și în situații climatice diferite constituie una din direcțiile principale în care își îndreaptă eforturile arhitecții, alături de ceilalți specialiști\*).

O altă preocupare a cercetării de arhitectură se leagă de coordonarea modulării captorilor cu cea a elementelor structurale și nestructurale în vederea industrializării diferitelor instalații heliocaptoare ale construcției (fig. 9). Rezolvarea ansamblurilor urbane sau rurale solare constituie de

---

\*) Din integrarea instalațiilor captoare și din încercarea de rentabilizare a întregii construcții solare rezultă parametrii caracteristici fiecărei situații în parte.

În urma unei îndelungate și fructuoase colaborări cu INCERC, în scopul analizării posibilităților de utilizare a energiei solare în construcții de turism, am conceput proiectul unui Hotel solar experimental la Jurilovca jud. Tulcea.

Din introducerea parametrilor energetici în studiu au rezultat în final, soluții specifice, diferite de cele clasice pentru rezolvările funcționale (băi în fațadă), de detaliu (utilizarea panourilor în 3 straturi din PAS și polistiren pentru închiderile exterioare), de volum (regim de înălțime) și de ansamblu (fig. 8).



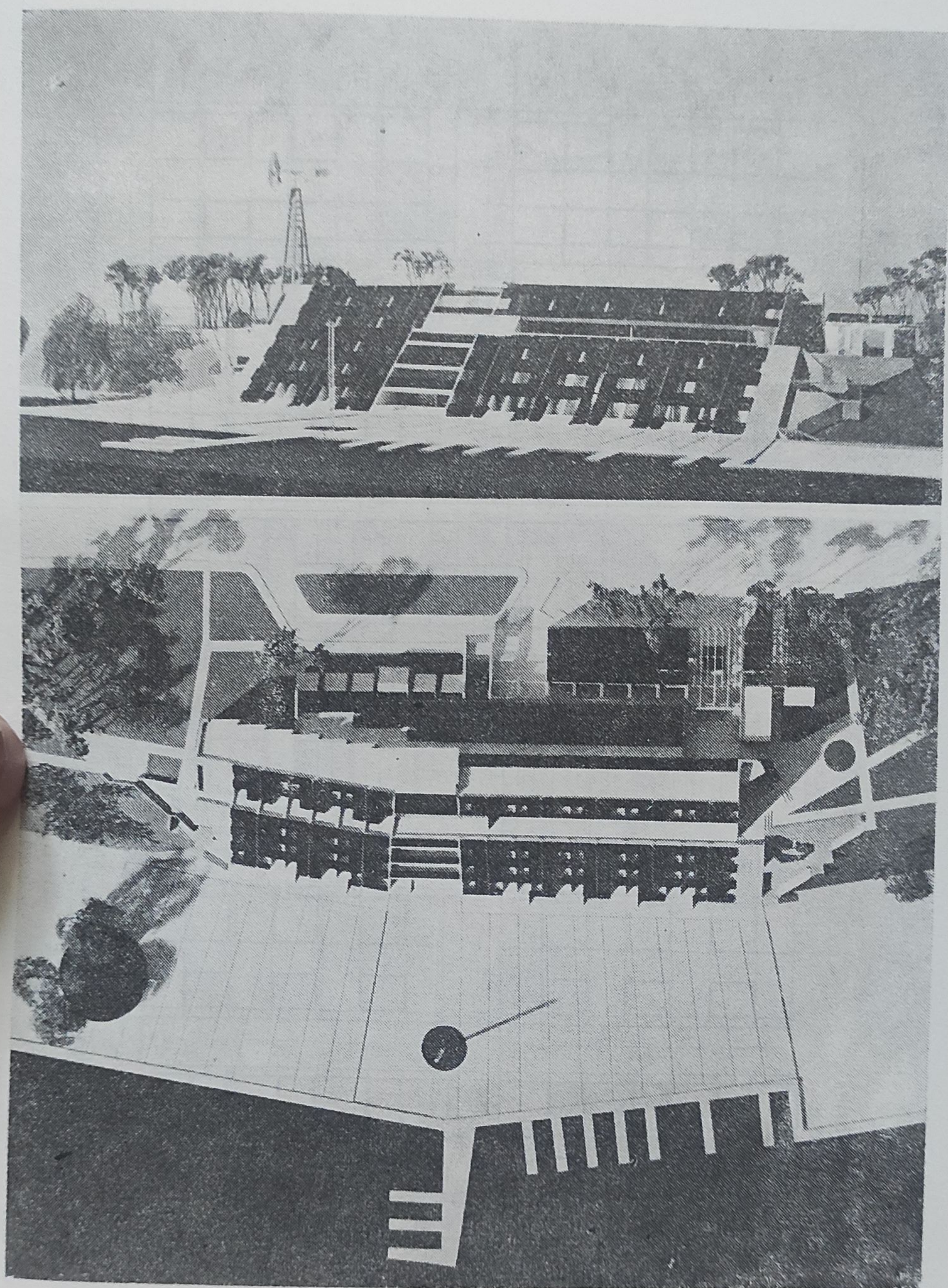


Fig. 8. — Hotel solar — Jurilovca



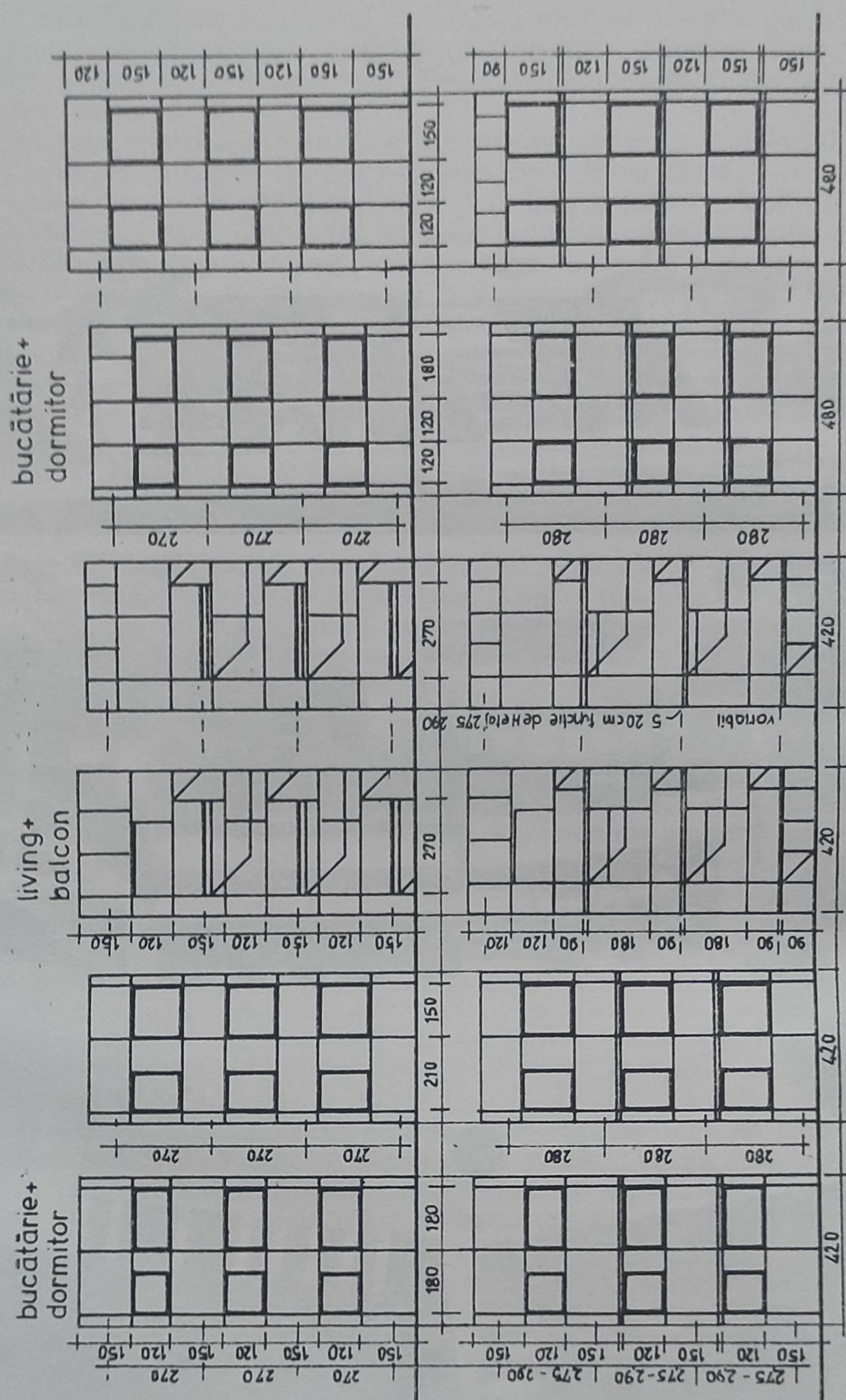


Fig. 9. — Propunere de modulare a sistemului heliocaptator al fațadei de Sud, în cazul unei locuințe colective.



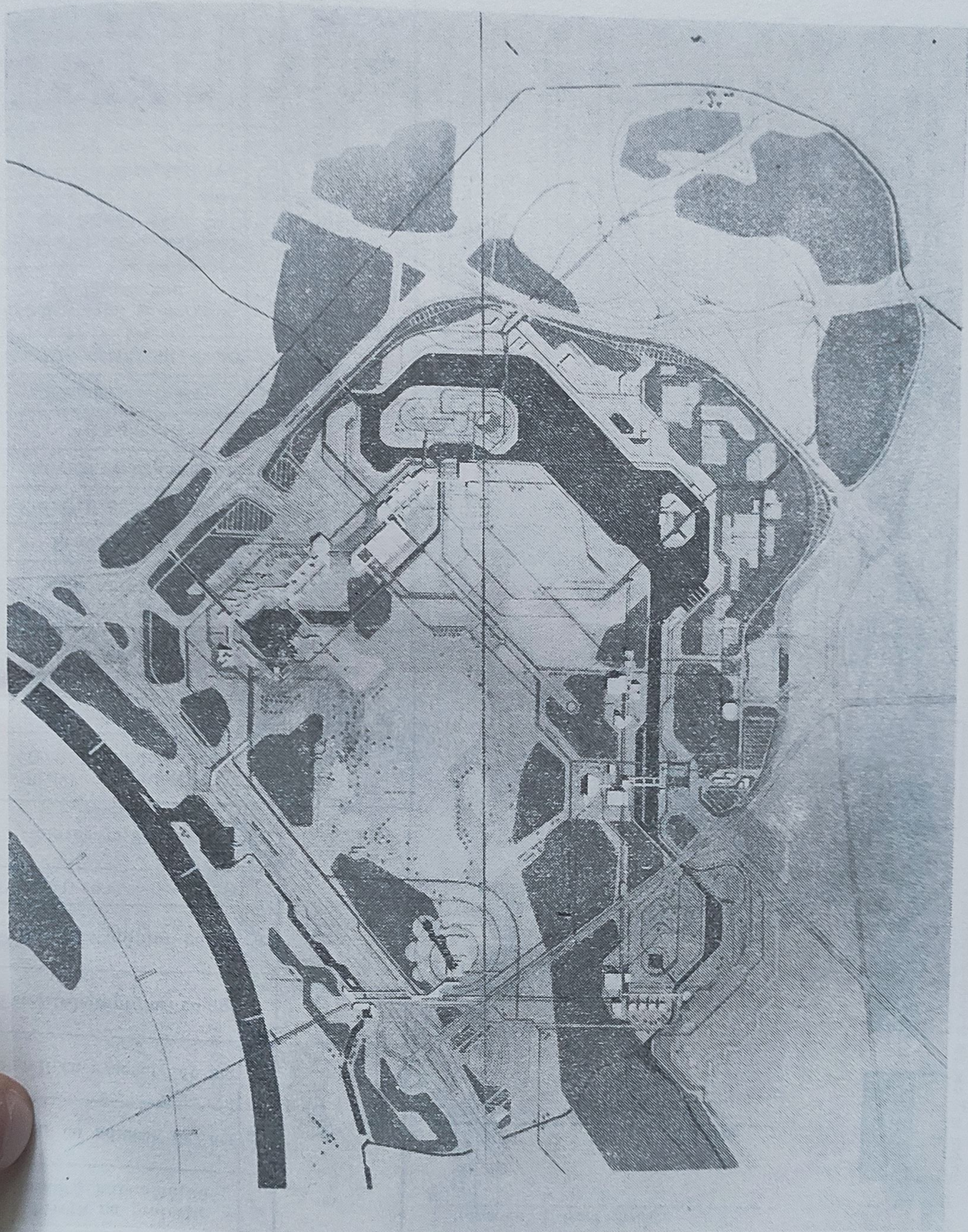


Fig. 10. — Centrul de loisir al oraşului Varşovia  
— Concurs internaţional.



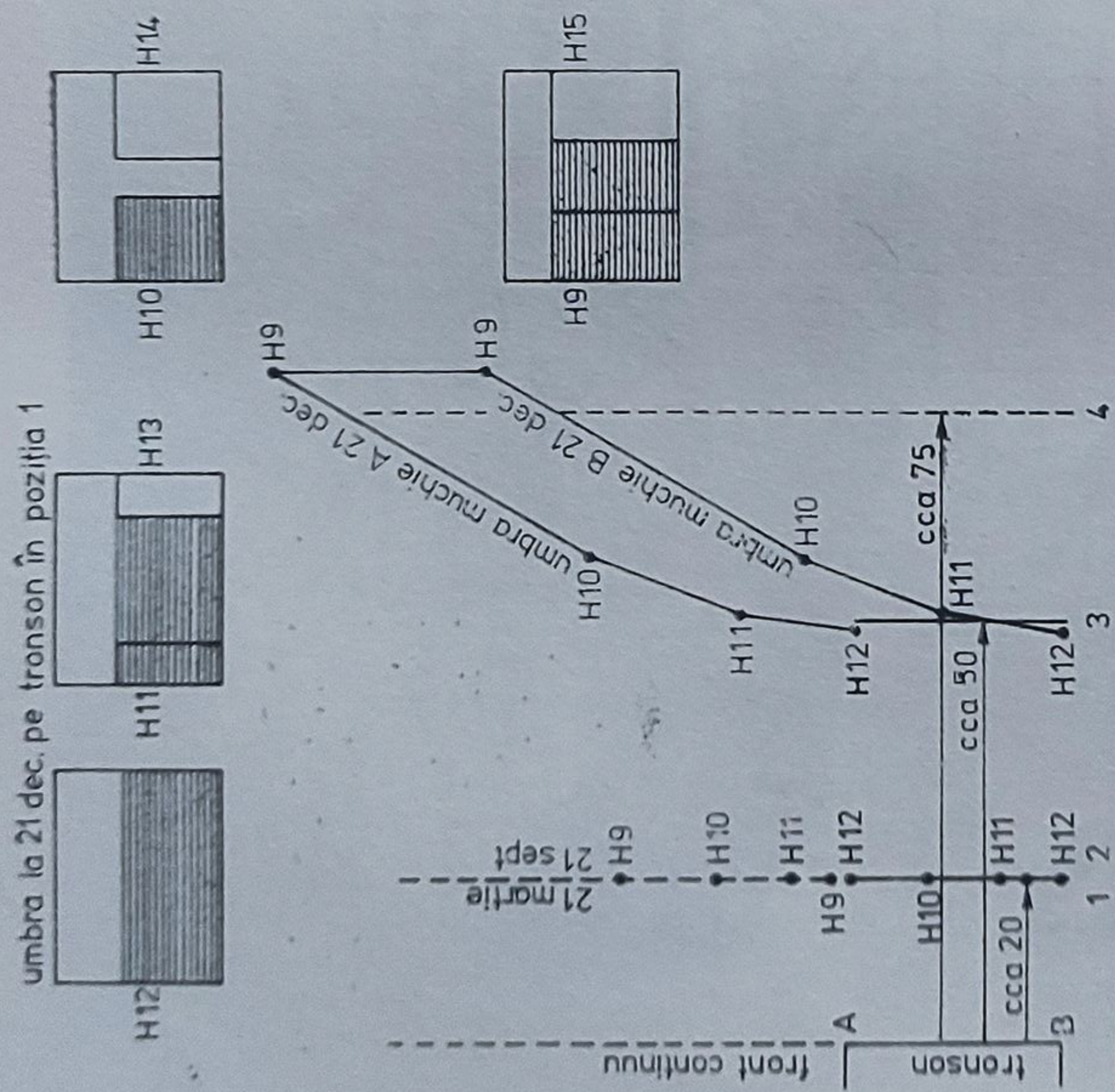


Fig. 11. — Exemplificarea modului de determinare a distanței între două fronturi construite. Studiul umbrelor reale pe fațade în cazul echinoxilor

Fig. 12. — Tabel cuprinzând sinteza mijloacelor de reducere ale consumului de energie pentru construcții de locuințe.

CATEGORII DE DETALII	A PEREȚI EXTERIORI							B PEREȚI INTERIORI			C ȚĂMBLĂRIE EXTERIOARĂ							D ȚĂMBLĂRIE INTERIOARĂ	E LOGII ȘI BALCOANE	F ÎNVELITORI	G CAPTATORI		
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>
Subcategorii de detalii	Pereții cu protecție termică îmbunătățită	Pereți cu admisie de aer	Pereți cu evacuare de aer	Pereți heliocaptatori cu apă	Pereți heliocaptatori cu aer	P arapeți cu evacuare de aer	Obloane cu glisare în perapet	Pereți cu protecție termică îmbunătățită	Canale de ventilație	Pereți cu stocare de energie	Ferestre cu protecție termică îmbunătățită	Ferestre etanșe	Ferestre cu admisie de aer	Ferestre cu evacuare de aer	Obloane	Țămbărie etanșe	Țămbărie cu circulație de aer	Închideri logii și bacoane pe fațada sud	Închideri logii și balcoane pe fațada nord	Învelitori heliocaptatoare cu apă	Învelitori heliocaptatoare cu aer	Caplatori cu apă	Caplatori cu aer



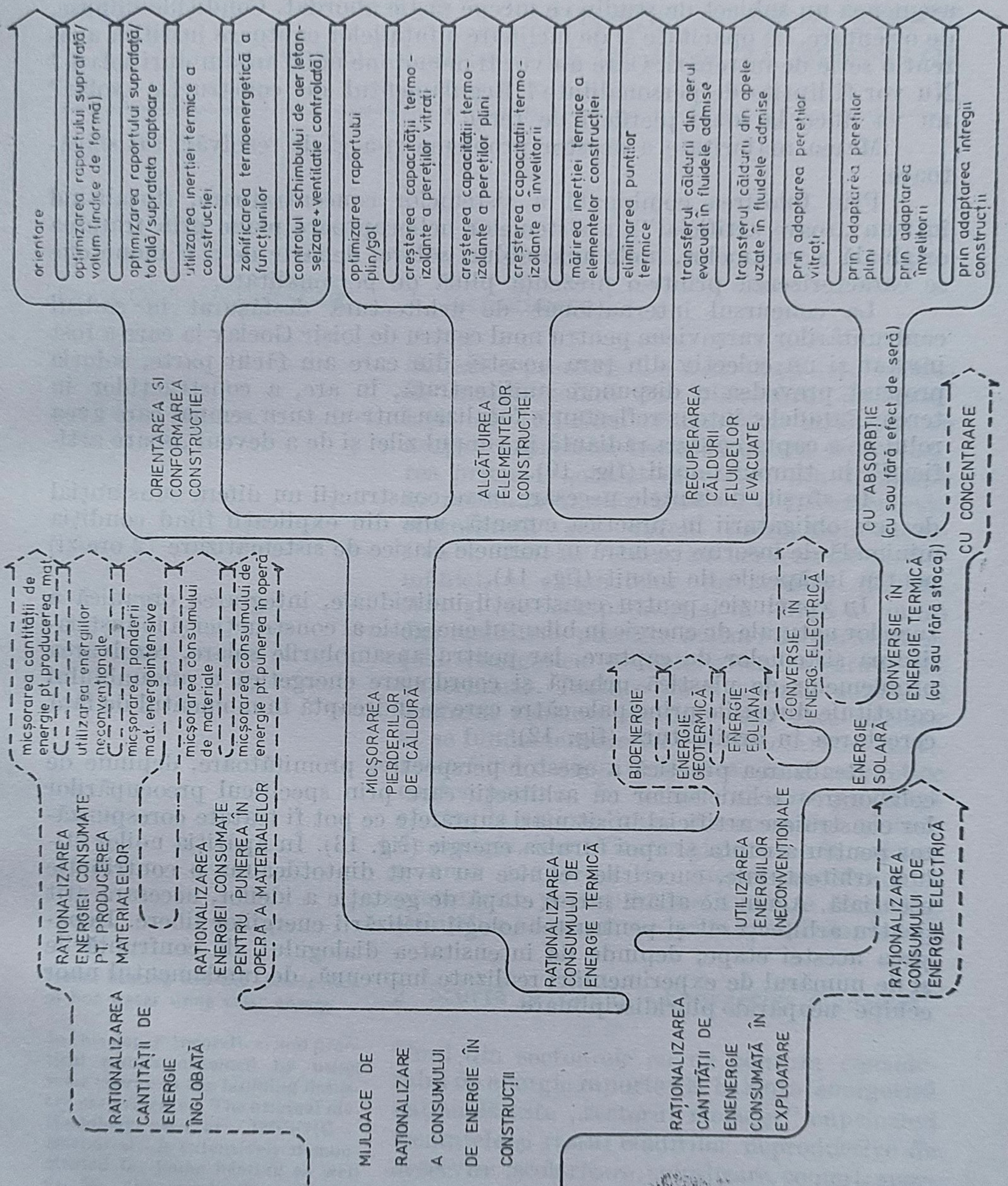


Fig. 13 -- Tabel sistematic al mijloacelor de raționalizare ale consumului de energie în construcții.



asemenea un subiect de studiu ce începe să fie abordat. Condițiile impuse, de orientare, de opacitate și de înclinare a fațadelor captoare justifică aparent o serie de întrebări. Oare nu vor fi monotone noile ansambluri solare? Nu vor fi lipsite de personalitate? Regulamentul de construcție „solar” nu va duce la mari pierderi de teren?.

Marea majoritate a acestor probleme și-a găsit rezolvări satisfăcătoare.

Prin folosirea combinată a sistemelor concentratoare, (focalizând într-un „soare artificial”), a sistemelor heliocaptoare plane prin tratarea originală a volumelor, noile ansambluri solare, departe de a fi monotone se caracterizează printr-o prezență plină de personalitate.

La concursul internațional de arhitectură desfășurat în cadrul confruntărilor varșoviene pentru noul centru de loisir Goclav la care a fost invitat și un colectiv din țara noastră din care am făcut parte, soluția propusă prevedea o dispunere amfiteatrată, în arc, a construcțiilor în teren. Fațadele, intens reflectante focalizau într-un turn semnal care avea rolul de a capta energia radiantă în timpul zilei și de a deveni „soare artificial” în timpul nopții (fig. 10).

În sfârșit, distanțele necesare între construcții nu diferă substanțial de cele obligatorii în practica curentă, una din explicații fiind condiția minimală de însorire ce intră în normele clasice de sistematizare (2 ore/zi) pentru încăperile de locuit (fig. 11).

În concluzie, pentru construcții individuale, integrarea organică a surselor naturale de energie în bilanțul energetic al construcției și industrializarea sistemelor de captare, iar pentru ansamblurile solare, rezolvarea problemelor de plastică urbană și coordonare energetică a ansamblului constituie direcțiile principale către care se îndreaptă în momentul de față cercetarea în arhitectură (fig. 12).

Realizarea practică a acestor perspective promițătoare, depinde de colaborarea tehnicienilor cu arhitecții care prin specificul preocupărilor lor construiesc artificial în sit mari suprafețe ce pot fi tratate corespunzător pentru a capta și apoi furniza energie (fig. 13). În apariția noilor stiluri arhitecturale, cuceririle tehnice au avut dintotdeauna o contribuție esențială. Acum ne aflăm într-o etapă de gestație a ideilor, necesară atât pentru arhitecți cât și pentru tehnologii utilizării energiei libere. Depășirea acestei etape, depinde de intensitatea dialogului, de confruntările și de numărul de experimentări realizate împreună, de randamentul unor echipe neapărat pluridisciplinare.



---

# ÎNCĂLZIREA LOCUINTELOR ȘI PRODUCEREA APEI CALDE CU AJUTORUL ENERGIEI SOLARE — CONTRIBUȚII TEORETICE LA ANALIZA SISTEMELOR

---

Dan CONSTANTINESCU\*)

## 1. Introducere

Se face o prezentare a activității colectivului de energie solară din laboratorul de instalații al INCERC—București, insistându-se asupra aspectelor teoretice legate de realizarea primelor „obiective solare” din România în perioada anilor 1976—78. Lucrarea este structurată sub forma prezentării successive a datelor climatice caracteristice României, a elementelor de analiză de sistem și de echipament și în sfârșit a unora din realizările practice alături de performanțele energetice caracteristice atestate de experiment. Înainte de a aborda subiectul conform schemei de mai sus, este necesar să se fundamenteze scopul cercetărilor, motivația fiind desigur realitatea crizei energetice contemporane. În acest context pe lângă eforturile raționalizării consumurilor globale de energie, identificarea și punerea în valoare a unor noi surse de energie constituie o preocupare pe deplin justificată a cercetării științifice în marea majoritate a țărilor lumii.

Home heating and the production of hot water using solar energy

In this paper theoretical and practical results obtained by using solar energy in the building industry are presented. The original methodology used at INCERC—Bucharest, is extensively demonstrated for home heating as well as for the production of hot water for domestic needs.

---

\*) Institutul de cercetări în construcții și economia construcțiilor — INCERC.

## 2. Scurtă privire în „Energetica menajeră”

Unul din sectoarele cu un consum considerabil de energie raportat la balanța energetică națională este „sectorul menajer” cuprinzând locuințele și restul clădirilor neproductive de deservire (școlarizare, spitalizare, comerț, sportive, administrație etc). În statistica energetică mondială acest sector este denumit „consumator domestic de energie”. Este interesant de remarcat că acest sector este caracterizat de consum energetic de joasă tem-



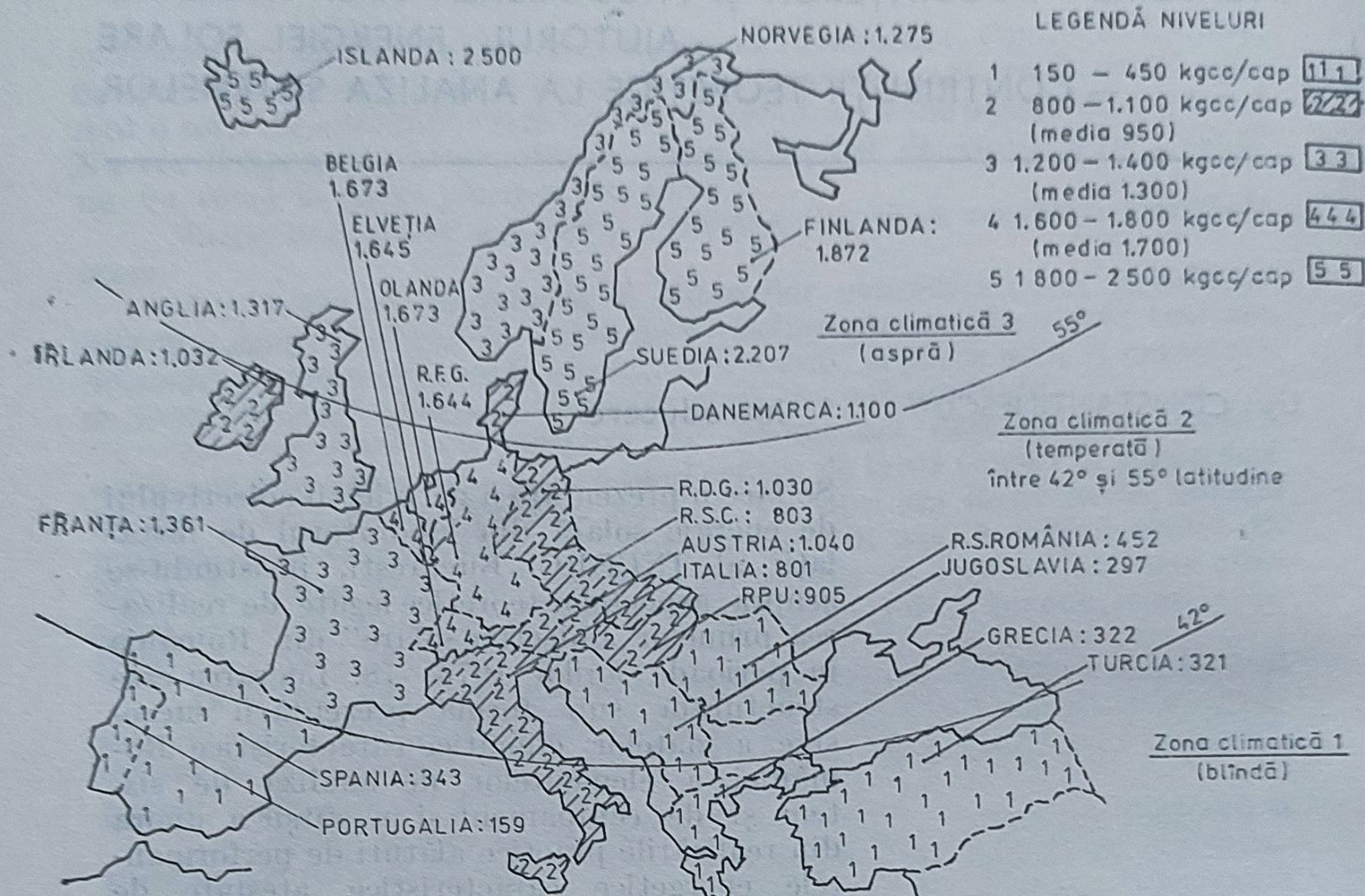
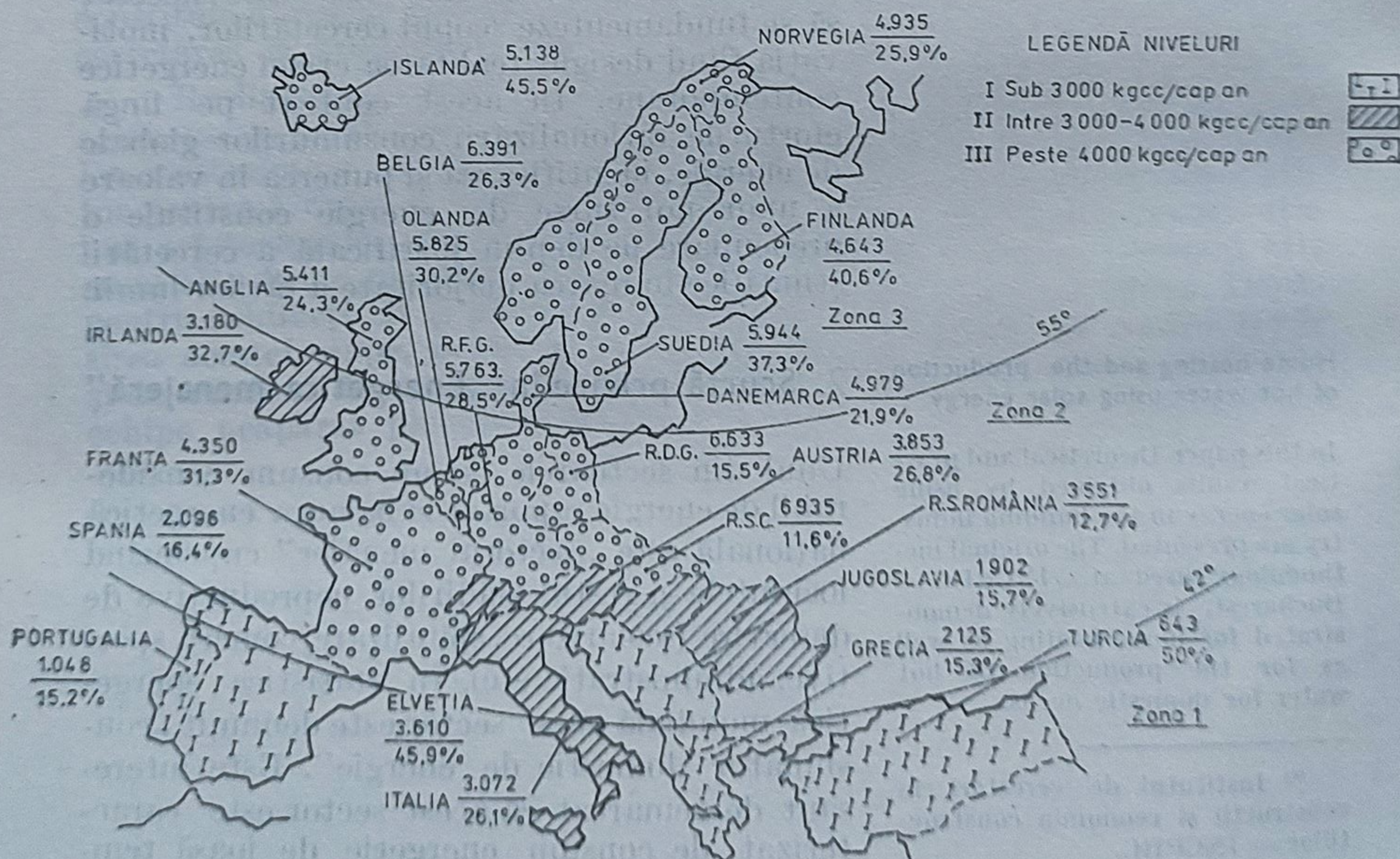


Fig. 1





peratură (sub 100 °C) ocupînd procente considerabile din totalul consumurilor naționale.

Nivelul consumului domestic de energie este influențat de o serie de factori printre care: nivelul de urbanizare, confort, zona climatică.

Acești factori explică diferențele care apar pe plan european între consumurile de energie pe cap de locuitor prezentate în figura 1 [1]. Se constată că în raport cu cele 3 zone climatice definite apar 5 niveluri caracteristice marcînd consumuri cuprinse între 150 kgcc/cap și 2 500 kgcc/cap. Menționăm că această statistică este valabilă la nivelul anilor 1974—1975, ani marcați de declanșarea crizei energetice mondiale.

În această sinteză europeană, România se situează la extrema inferioară a consumurilor dintre țările amplasate în zona a doua climatică cu un consum de 452 kgcc/loc, ceea ce reprezintă circa  $9,5 \cdot 10^6$  tcc/an, consum domestic de energie.

Extinzînd analiza prin comparație cu consumurile energetice naționale (fig. 2) se constată că circa 15 % din consumul energetic al României îl reprezintă consumul domestic. Acesta este domeniul în care energetica solară se poate exprima la ora actuală cel mai bine, eficiența proceselor de conversie la nivele joase de temperatură atingînd valori care fac fezabile „tehnologiile solare”.

Rezultă prin urmare că definirea domeniului de impact al energiei convenționale cu energia solară se limitează în cadrul preocupărilor INCERC, numai la consumurile de căldură.

Defalcînd din totalul consumurilor domestice consumurile rezultate din încălzirea spațiilor de locuit și producerea apei calde rezultă pentru

Tabela 1  
Necesa energie termică, Gcal/loc·an

Consumatori	1975		2000	
	urban	rural	urban	rural
Locuințe				
● încălzire	2,38	1,19	4,10	2,90
● apă caldă	0,90	0,23	1,68	0,56
Clădiri neproductive				
● încălzire	0,41	0,07	0,82	0,23
● apă caldă	0,15	0,02	0,34	0,05
Total clădiri neproductive				
Pondere populație	46 %	54 %	80 %	20 %
Valoare medie ponderată				
● încălzire	1,96		4,56	
● apă caldă	0,62		1,74	
● Total	2,58		6,30	
● Total, kgcc/loc·an	369		900	

locuințe și alte clădiri neproductive următoarele valori valabile la nivelul anului 1975 și prognozate la nivelul anului 2000 (tabela 1).

Revenind la consumurile altor țări europene se poate constata că preocupările de reducere a consumurilor energetice domestice au motive

Fig. 1. — Valori ale consumului energetic particular pe cap de locuitor (kgcc/cap an) în 1974 în 23 țări europene.

Fig. 2. — Valori ale consumului energetic total pe cap de locuitor (kgcc/cap an) și ponderi ale consumului energetic particular în 1974, în 23 țări europene.



să fie mai accentuate, procentual aceste consumuri situându-se în jurul valorilor de 25 ÷ 30 % din consumurile energetice naționale.

Iată dar, un domeniu foarte propice cercetărilor privind implementarea energiei solare dar care prin ponderea ridicată la nivelul consumului energetic mondial așteaptă un răspuns rapid și eficace.

### 3. Date climatice caracteristice României

Din totalul factorilor climatici care influențează consumul de căldură pentru încălzire și producere de apă caldă precum și posibilitățile de utilizare a energiei solare, vom evidenția temperatura aerului, durata de strălucire a soarelui și intensitatea radiației solare.

Temperatura exterioară intervine ca parametru de dimensionare a instalațiilor de încălzire și ca parametru de evaluare a consumurilor de căldură, sub forma temperaturii exterioare de calcul respectiv a gradelor-zile. Dacă temperatura exterioară de calcul este un parametru convențio-

Tabela 2  
Regimuri termice în R. S. România

Localitatea	Altitudine m	Durată, perioadă, încălzire zile	Temperatura exterioară medie °C	Temperatura exterioară de calcul °C	Nr. grade zile la + 18°C
Arad	101	166	2,8	-15	3 140
Birlad	74	180	1,8	-15	3 545
Brăila	15	166	2,2	-15	3 170
Brașov	560	198	1,4	-15	3 970
București	92	174	2,3	-15	3 140
Calafat	66	162	2,6	-15	2 990
Călărași	26	164	2,7	-15	3 040
Constanța	32	167	3,5	-12	2 900
Craiova	105	166	2,0	-15	3 140
Deva	190	176	2,7	-15	3 220
Făgăraș	429	190	1,5	-18	3 745
Galați	30	171	1,9	-15	3 220
Giurgiu	17	160	2,4	-15	3 040
Iași	100	182	1,5	-15	3 590
Lugoj	124	160	3,5	-12	3 020
Petroșani	607	204	1,9	-15	4 030
Piatra Neamț	340	210	2,1	-18	3 730
Pitești	307	182	2,2	-12	3 410
Ploiești	164	170	2,4	-15	3 185
Râmnicu Vâlcea	242	178	2,7	-12	3 220
Reșița	250	170	2,8	-12	3 140
Sibiu	416	184	2,1	-18	3 400
Sinaia	860	224	1,2	-15	4 440
Sulina	3	172	3,2	-12	2 870
Tg. Jiu	210	174	2,3	-15	3 270
Timișoara	91	170	3,2	-15	3 110
Vatra Dornei	807	232	0,4	-18	4 510

nal ținând seama alături de clima reală și de gradul de izolare termică a construcțiilor, numărul de grade-zile este o valoare reală proporțională cu consumul de căldură.



Fără a detalia factorii care intră în stabilirea acestui parametru prezentăm succint valorile caracteristice câtorva localități din țară care prin amplasarea lor geografică acoperă întreg teritoriul R.S.R. (tabela 2). Se constată valori cuprinse între 3 000 și 4 000 grade-zile, ceea ce situează România printre țările cu un climat continental temperat caracterizat de ierni destul de friguroase.

Rezultă deci aici o particularitate a cercetărilor românești în domeniul utilizării energiei solare la încălzirea spațiilor de locuit. Sistemele concepute trebuie să utilizeze la maximum potențialul energetic radiativ în condițiile diminuării considerabile a pierderilor de căldură.

Din punct de vedere radiativ România este caracterizată de o variație a orelor de strălucire a soarelui cuprinse între 1500 ore/an (zona montană) și 2400 ore/an (zona litoralului) alături de un flux radiativ global cuprins între  $1,10 \div 1,25$  Gcal/m<sup>2</sup>·an [2]. Raportat la baremul de fezabilitate tehnico-economică unanim recunoscut de specialiști de 1800 de ore de strălucire pe an, climatul românesc oferă motive întemeiate de exploatare a radiației solare sub forma conversiei termice la nivele joase de temperatură (sub 100°C).

O altă caracteristică a climatului RSR o constituie concentrarea majorității orelor de strălucire a soarelui în perioada caldă a anului (circa 68%) care atrage în mod firesc și valori ridicate ale fluxului radiativ recepționat în aceeași perioadă.

Revenind la suma radiației globale de 1,20 Gcal/m<sup>2</sup> an, un calcul estimativ conduce la evaluarea unei cantități de căldură utilă de circa 0,40 Gcal/m<sup>2</sup> an. Este interesant de confruntat această valoare cu valorile consumului energetic prezentate în tabela 1.

Rezultă că la nivelul de consum caracteristic anului 1975 necesarul de suprafață de captare ar fi fost de 126 km<sup>2</sup>, ceea ce reprezintă numai 0,053% din suprafața României.

Raportat la consumul energetic național și considerînd un randament de conversie a radiației solare de numai 5% rezultă că necesarul de suprafață de captare ar fi fost la nivelul anului 1975 de 8 800 km<sup>2</sup>, ceea ce reprezintă 3,7% din teritoriul R.S.R.

Aceste cifre demonstrează uriașa sursă energetică care este energia solară utilizată direct și nu sub formă sa fosilă.

Extrem de atrăgătoare sub acest aspect, utilizarea energiei solare ridică probleme din punct de vedere tehnologic și în directă corelare cu acestea de ordin sociologic. Problema se va considera pe deplin rezolvată numai atunci cînd între caracterul aleatoriu al sursei și caracterul determinat al consumatorului nu va mai exista incertitudinea corelării, rezervele și vîrfurile de consum fiind perfect controlabile.

#### 4. Tehnologii solare aplicate în construcții

Din cele anterior prezentate rezultă că domeniul construcțiilor, domeniul consumului domestic de energie, se impune ca prim utilizator al energiei solare în locul combustibililor clasici. Fără a încerca o demonstrație care ar ocupa multe pagini, afirmăm că acest adevăr poate căpăta atributul



de absolut chiar în condițiile realizării mult doritei reacții de fuziune nucleară controlată.

Realizarea unor tehnologii propriu zis solare este condiționată de realizarea unui ansamblu de măsuri de ordin tehnic, economic și social care să conducă la definirea unui habitat specific destinat omului și nu să conformeze forțat omul unor necesități de natură energetică. Concluzia firească este obligativitatea întrepătrunderii gândirii tehnice de detaliu a inginerului cu cea umanistă de sinteză, a arhitectului. De aici rezultă o structurare firească conform căreia acționează și programul de cercetare al specialiștilor din INCERC alături de colaboratorii din cadrul Institutului de arhitectură, din IPCT și alte câteva institute de proiectare din țară. Într-o primă etapă care se va consuma la finele anului 1981 se vor realiza proiectele de execuție ale unor tipuri de construcții de locuit dotate cu instalații și sisteme de încălzire solară precum și proiectele unor instalații de producere a apei calde de consum. Evident, aceste proiecte constituie rezultate ale cercetării aplicativ-fundamentale care se desfășoară cu prioritate în cadrul INCERC—București.

#### 4.1. Case solare

Programul de cercetare, coordonat de CNST, vizează în acest domeniu probleme de detaliu privind sistemele și problemele de sinteză privind ansambluri arhitectonice, sistematizare și jurisdicție solară. În articolul de față ne vom referi numai la datele de ordin tehnic punând accentul pe metodologia de analiză de sistem și pe rezultatele experimentale oferite de casele solare pilot CS 1 Cîmpina și CS 2 Cîmpina.

##### 4.1.1. Sistemul pasiv de încălzire solară— casa solară CS 1 Cîmpina — INCERC — București 1976

Din punctul de vedere tehnologic realizarea sistemelor pasive de încălzire solară reprezintă o etapă intermediară între casa tradițională și casele propriu zis solare reprezentate de sisteme active de încălzire solară. În principal un sistem pasiv de încălzire solară exploatează o amenajare constructivă specifică oricărei captări de energie solară într-un mod cât mai simplu realizînd de fapt „solarizarea” unei case cu o structură apropiată de casa tradițională.

În cazul de față este vorba de comasarea efectului de seră cu stocarea excedentului termic oferit de soare, într-un element de construcție masiv, pe care-l vom numi peretele captator.

Distribuția căldurii în spațiul de locuit se realizează prin cele trei mijloace de transmisie a căldurii: *convecție* (termocirculație naturală între aerul din spațiul de locuit și sera captatoare; cedare de căldură de la suprafața interioară a peretelui captator spre aerul din spațiul de locuit), *conducție* (unda termică se propagă de la suprafața de captare prin peretele masiv spre interiorul peretelui masiv) și *radiație* (suprafața interioară a peretelui captator emite radiații către celelalte suprafețe expuse aflate în spațiul de locuit).



Pentru a compensa caracterul aleatoriu al furnizării de căldură datorată exclusiv soarelui, în interiorul casei se prevede o sursă auxiliară de căldură care trebuie să fie suficient de suplă pentru a acoperi necesarul de căldură impus de condiția de confort termic. Analiza acestui sistem de încălzire solară, efectuată în paralel cu experimentările din casa solară CS 1 Cîmpina (INCERC—1976) cuprinde evidențierea diferenței consumurilor de energie auxiliară pentru încălzire, față de o casă tradițională precum și elemente de testare prin modelare matematică a unor structuri constructive diferite de cea a modelului experimental. Neacceptînd metoda clasică a gradelor-zile ca metodă de estimare a consumului de căldură, cercetătorii din colectivul de energie solară au elaborat o metodă specifică caselor solare. Metoda are caracter general și permite prelucrarea datelor măsurate, punînd în evidență influențele simultane ale caracteristicilor constructive și parametrilor climatici asupra consumului de energie.

Formal, corelația are aspectul unei legături liniare între consumul de energie și un parametru climatic specific

$$Q_{AUX}/I = m[(t_i - t_e)/I] - n. \quad (1)$$

Față de condiția teoretică de analiză care cuprinde numai evenimente staționare, experimentul oferă detalii suplimentare greu de modelat matematic care conferă corelației de mai sus un caracter exponențial

$$Q_{AUX}/I = m_1([(t_i - t_e)/I] - n_1)^p. \quad (2)$$

Aplicată pentru cazurile concrete ale casei solare CS 1 Cîmpina — și unei case tradiționale ( $TR$ ) cu un spațiu construit asemănător, relația (2) devine

$$Q_{AUX}^S/I = 1,94([(t_i - t_e)/I] - 0,09)^{0,67}, \quad (2')$$

respectiv

$$Q_{AUX}^{TR}/I = 2,44([(t_i - t_e)/I] - 0,06)^{0,405}. \quad (2'')$$

Cele două relații sînt prezentate în figura 3.

Diferența de consum energetic este evidentă. Se mai remarcă din alura celor două curbe, apropierea de reprezentarea formală (1) pentru valori ale parametrului  $(t_i - t_e)/I > 0,22$  ceea ce coincide cu perioade caracterizate de intensități ale radiației solare, minime. Nu trebuie să se înțeleagă că exclusiv amenajarea solară este cea care departajează consumurile de căldură ale celor două case analizate. Aceasta este consecința efectelor cumulate ale izolării termice superioare de care beneficiază casa solară și ale influenței radiației solare.

Bilanțul termic global caracteristic unei case solare este descris de ecuația simplă

$$Q_{AUX} + Q_{PS} = Q_P. \quad (3)$$

Pentru regimuri staționare

$$Q_P = \overline{KS} \Delta t_i. \quad (4)$$



Rezultă

$$(KS)_j = (Q'_{aux} + Q'_{ps})/\Delta t_{ij}, \quad (5)$$

în care idicele  $j$  semnifică fiecare lună din perioada analizată.

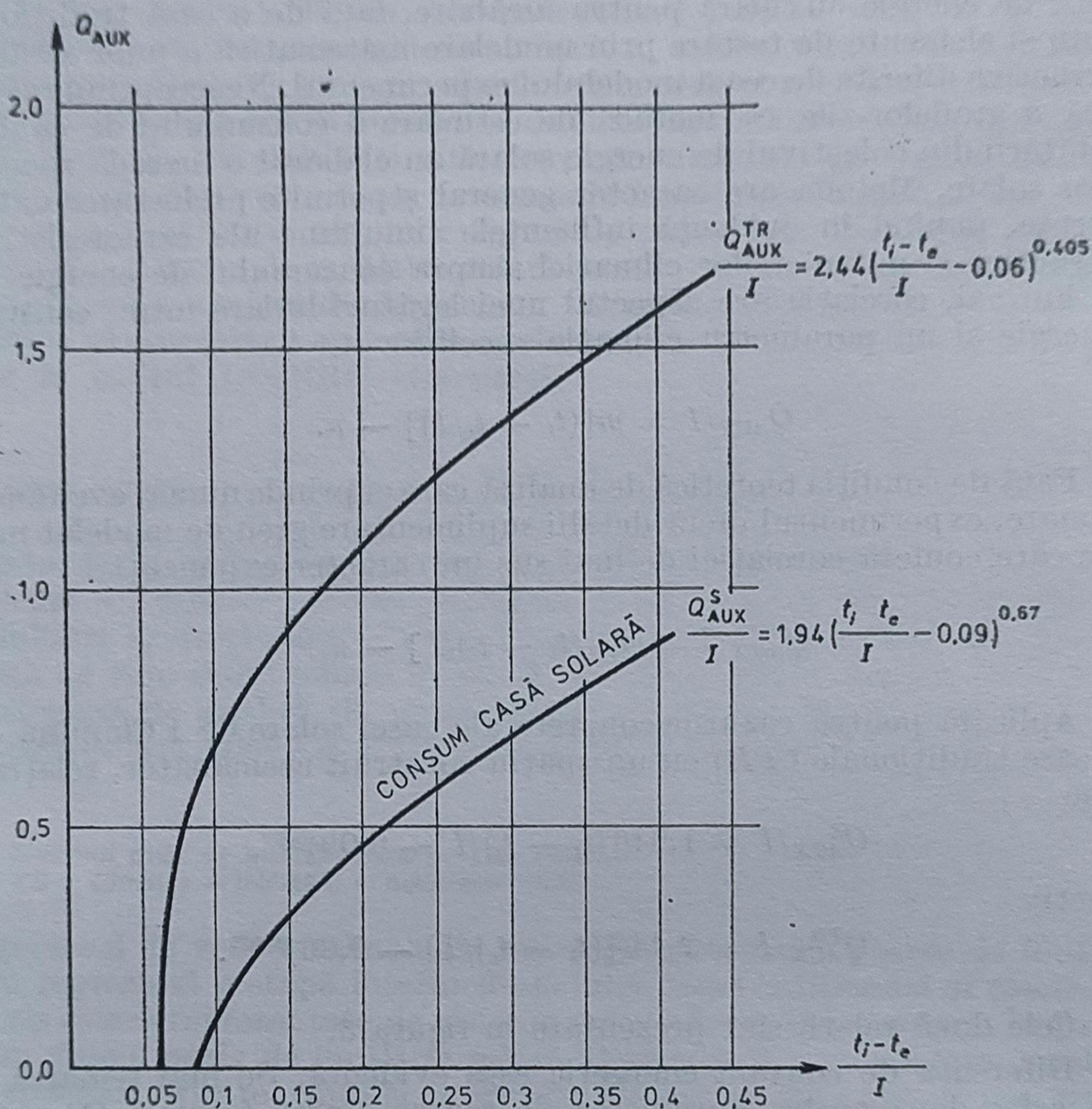


Fig. 3. — Consumuri energetice pentru instalații solare.

Mărimea fluxului termic pierdut prin perețele captator se determină din relația (3)

$$Q'_{ps} = f_1(\alpha_e, K, K'') \Delta t_{ij} - f_2(\alpha_e, K, K'') I. \quad (6)$$

Valoarea numerică a coeficientului  $(KS)_j$  s-a determinat prin calculul coeficientului unghiular al dreptei de regresie

$$Q'_{aux} + Q'_{ps} = \varphi(\Delta t_{ij}). \quad (7)$$



Rezultatul este  $\overline{KS} = 2,36 \text{ kW/}^\circ\text{C}$  ca valoare medie iar gradul de corelare al relației (7)  $\text{CORR} = 0,988$ . Prin urmare se poate scrie

$$Q'_{AUX} = 2,36 (t_{ij} - t_{ej}) - Q'_{PS} \quad (8)$$

valabilă pentru casa solară CS 1 Cîmpina.

Reluîndu-se același procedeu pentru o casă tradițională rezultă relația

$$Q_{AUX}^{TR} = 4,52(t_{ij} - t_{ej}) + 1,30 (t_{ij} - t_{pj}). \quad (9)$$

În tabela 3 se prezintă comparativ valorile  $Q_{AUX}$  calculate cu relațiile (8) și (9) cu valorile obținute din măsurători și determinări statistice.

Tabela 3  
Date de calcul și măsurători

Luna	XII	I	II	III	IV	V	Sezon încălzire
CALC $Q_{AUX}$	42,02	47,77	57,31	35,72	20,18	10,30	213,30 $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$
MĂS $Q_{AUX}$	44,79	50,00	52,61	38,82	20,46	5,25	205,93 $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$
TR.CALC $Q_{AUX}$	111,67	118,46	121,01	84,97	57,57	37,77	531,45 $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$
TR.MĂS $Q_{AUX}$	90,92	117,16	95,64	81,96	72,60	52,11	510,39 $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$

Se constată că eroarea de apreciere pe sume anuale este în medie de 4% ceea ce conferă suficientă siguranță metodei.

Cu ajutorul celor două relații s-a efectuat analiza diferitelor variante de case: case tradiționale, case termoizolante fără adaptare solară, case termoizolate cu adaptare solară, case tradiționale cu adaptare solară.

Ecuatiile care guvernează bilanțurile termice ale acestor cazuri sînt:

$$Q_{AUX}^{TR} = 4,52 (t_{ij} - t_{ej}) + 1,30 (t_{ij} - t_{pj}),$$

$$Q_{AUX}^{IZ} = 4,52i(t_{ij} - t_{ej}) + 1,30(t_{ij} - t_{pj}), \quad (9')$$

$$Q_{AUX}^S = 4,52i(t_{ij} - t_{ej}) - Q_{PS}^i,$$

$$Q_{AUX}^{TR,S} = 4,52(t_{ij} - t_{ej}) + 1,30(t_{ij} - t_{pj}^s),$$

în care  $i$  este gradul de termoizolare.



Pentru a răspunde unei întrebări frecvente : ce este mai bine de făcut ? o casă termoizolată sau o casă solară ? s-au calculat valorile  $Q_{AUX}^{IZ}$  și  $Q_{AUX}^S$  raportat la sezonul climatic 1977—1978 (tabelele 4 și 5).

Pentru  $i = 0,5$  (caz corespunzător casei solare CS 1 Cîmpina) rezultatul este edificator. :  $Q_{AUX}^{IZ} = 8\,205$  kWh/an și  $Q_{AUX}^S = 5\,430$  kWh/an

Tabela 4

Date de calcul și măsurători

Luna	XII	I	II	III	IV	V	Sezon încălzire, kgcc
$Q_{AUX}^{TR}$ , $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$	93,66	99,36	91,68	71,27	46,73	31,68	1 752
IZ, %	1	1	1	1	1	1	1
$Q_{AUX}$ , $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$							
$i = 1$	93,66	99,36	91,68	71,27	46,73	31,68	1 752
IZ, %	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
$Q_{AUX}$ , $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$							
$i = 0,8$	77,94	85,60	76,46	59,17	38,57	25,89	1 454
IZ, %	0,66	0,66	0,67	0,66	0,65	0,63	0,66
$Q_{AUX}$ , $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$							
$i = 0,6$	65,83	61,24	47,07	30,40	20,09	20,09	1 157
IZ, %	0,58	0,58	0,58	0,57	0,56	0,54	0,57
$Q_{AUX}$ , $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$							
$i = 0,5$	54,35	57,45	53,63	41,01	26,31	17,19	1 008
IZ, %	0,50	0,49	0,50	0,49	0,48	0,45	0,49
$Q_{AUX}$ , $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$							
$i = 0,4$	46,49	49,07	46,02	34,96	22,23	14,30	859
IZ, %	0,33	0,33	0,34	0,32	0,30	0,27	0,32
$Q_{AUX}$ , $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$							
$i = 0,2$	30,76	82,30	30,81	22,86	14,06	8,51	562

Interesant este de remarcat consumul  $Q_{AUX}^{TR} = 14\,260$  kWh/an pentru o casă tradițională.

Concluziile acestui calcul numeric indică faptul că : o casă solară de tip CS 1 Cîmpina are un consum de căldură cu circa 60 % mai redus decât o casă tradițională ( $i = 0,5$ ) la un randament de captare a radiației solare de circa 35 % (fig. 4) iar termoizolarea conduce la un consum de energie cu 40 % mai redus decât într-o casă tradițională.



Este interesant de evidențiat influența gradului de termoizolare asupra participării energiei solare în balanța termică a unei case solare. Corelația  $Q_{PS}/Q_{AUX}^{IZ} = f(i)$  reprezentată în figura 5 evidențiază două zone de interes practic:  $1,00 > i > 0,60$ ,  $0,23 < Q_{PS}/Q_{AUX}^{IZ} < 0,38$ ,  $0,60 > i > 0,20$ ,  $0,38 < Q_{PS}/Q_{AUX}^{IZ} < 1,00$ .

Independent de caracterul construcției, peretele captator își exprimă calitățile energetice printr-o cifră foarte concretă: 15 kg cc/m<sup>2</sup> sezon în condițiile climatice ale României.

Fără a intra în detaliile metodei de analiză economică, prezentăm rezultatele aplicării acesteia care în ultimă instanță constituie verdictul

Tabela 5

Date de calcul și măsurători

Luna	XII	I	II	III	IV	V	Sezon încălzire, kgcc
$Q_{AUX}^{TR}$ , $\frac{kWh}{m^2}$	93,66	99,36	91,68	71,27	46,73	31,68	1 752
$IZ+S$ , %	0,78	0,81	0,87	0,83	0,77	0,71	0,81
$Q_{AUX}$ , $\frac{kWh}{m^2}$							
$i=1$	72,82	80,11	79,78	58,84	35,89	22,48	1 411
$IZ+S$ , %	0,71	0,64	0,71	0,66	0,59	0,53	0,64
$Q_{AUX}$ , $\frac{kWh}{m^2}$							
$i=0,8$	57,09	63,35	64,56	46,74	27,83	16,67	1 114
$IZ+S$ , %	0,44	0,47	0,54	0,49	0,42	0,34	0,47
$Q_{AUX}$ , $\frac{kWh}{m^2}$							
$i=0,6$	41,36	46,59	49,34	34,63	19,56	10,89	816
$IZ+S$ , %	0,36	0,38	0,45	0,40	0,33	0,25	0,38
$Q_{AUX}^*)$ , $\frac{kWh}{m^2}$	33,50	38,20	41,73	28,58	15,47	7,99	667
$i=0,5$							
$IZ+S$ , %	0,27	0,30	0,37	0,32	0,24	0,16	0,30
$Q_{AUX}$ , $\frac{kWh}{m^2}$	25,64	29,82	34,12	22,53	11,39	5,10	519
$i=0,4$							
$IZ+S$ , %	0,11	0,13	0,21	0,15	0,07	—	0,13
$Q_{AUX}$ , $\frac{kWh}{m^2}$	9,91	13,06	18,91	10,43	3,22	—	222
$i=0,2$							

\*) Această ipoteză corespunde unei case solare cu același structură cu casa solară CS 1 Cîmpina la temperatura interioară de 18°C.



aplicării sau neaplicării tehnologiei solare pasive în construcții: costul unității de energie solară 0,16 lei/kWh; durata de recuperare a investiției suplimentare, 12 ani.

Succinta analiză de mai sus vizează numai o structură constructivă dată respectiv casa solară CS 1 Cîmpina. În această variantă peretele captator este construit din beton masiv vopsit cu culoare negru mat la exterior și acoperit cu o seră realizată din geam dublu.

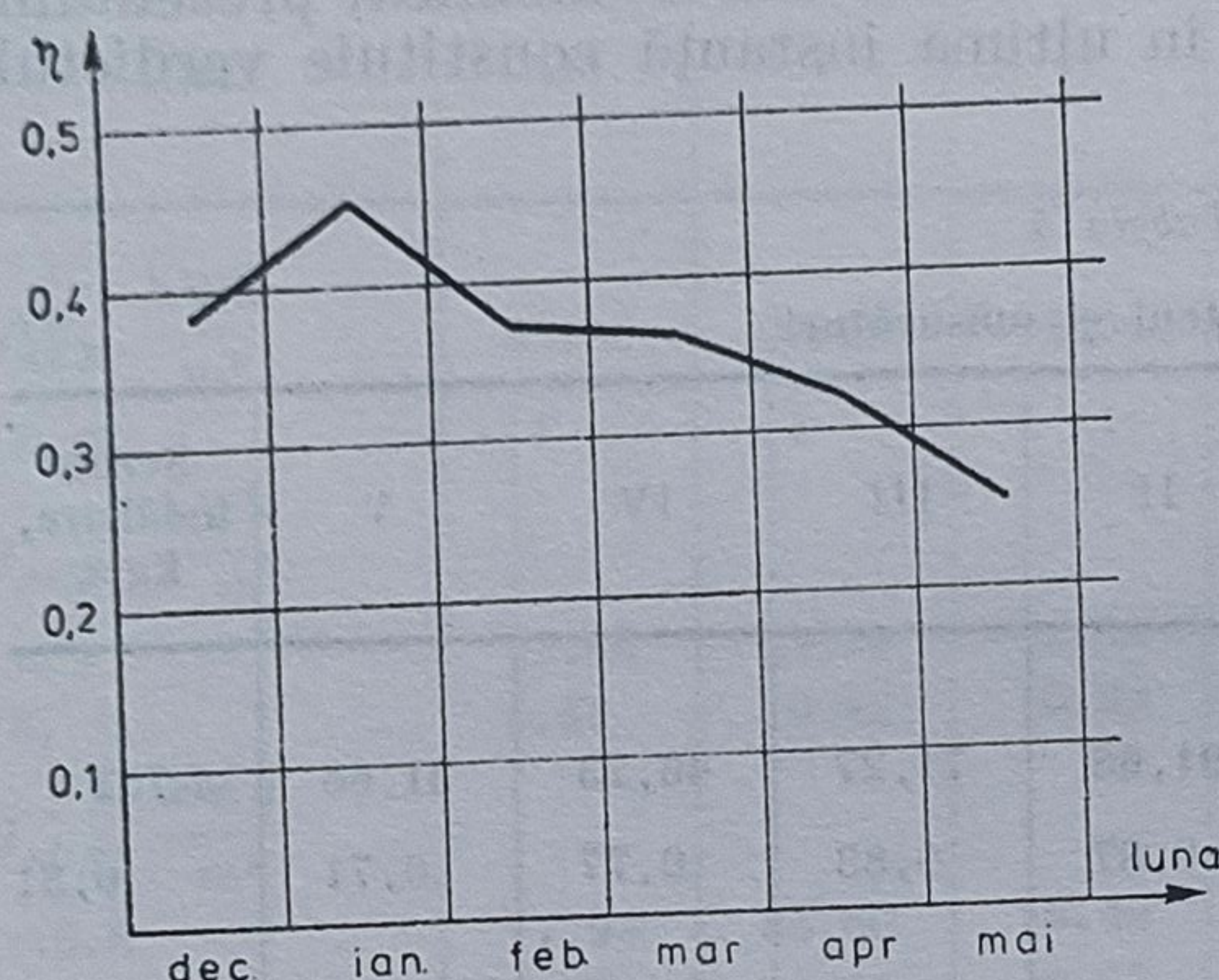


Fig. 4. — Casa solară CS 1 Cîmpina.

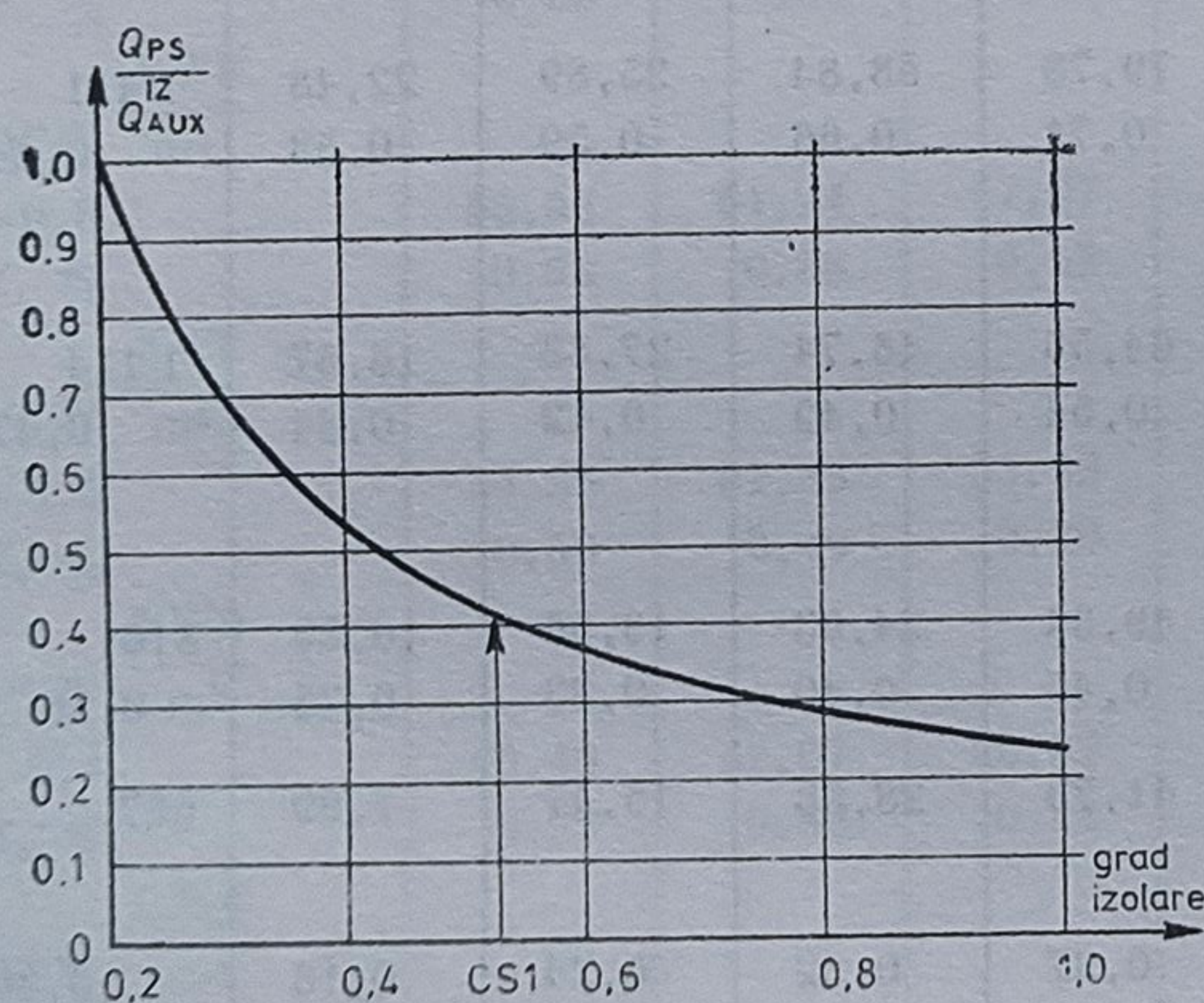


Fig. 5. — Corelații energetice.

Continuînd cantitativ un punct de vedere exprimat calitativ [4] de cercetătorii INCERC în problema utilizării energiei solare, punct de vedere care subliniază corelația existentă între caracterul climei și structura elementului de captare, același grup de cercetări a elaborat un model matematic de analiză climatică dinamică a caselor solare, sistem pasiv.

Structura schematică a programului este prezentată în figura 6.

Dificultatea modelului constă în realizarea bilanțului termic al unei celule structurate geometric conform unei camere de locuit în regim tranzitoriu de schimb de căldură cu exteriorul.



aplicării sau neaplicării tehnologiei solare pasive în construcții: costul unității de energie solară 0,16 lei/kWh; durata de recuperare a investiției suplimentare, 12 ani.

Succinta analiză de mai sus vizează numai o structură constructivă dată respectiv casa solară CS 1 Cîmpina. În această variantă peretele captator este construit din beton masiv vopsit cu culoare negru mat la exterior și acoperit cu o seră realizată din geam dublu.

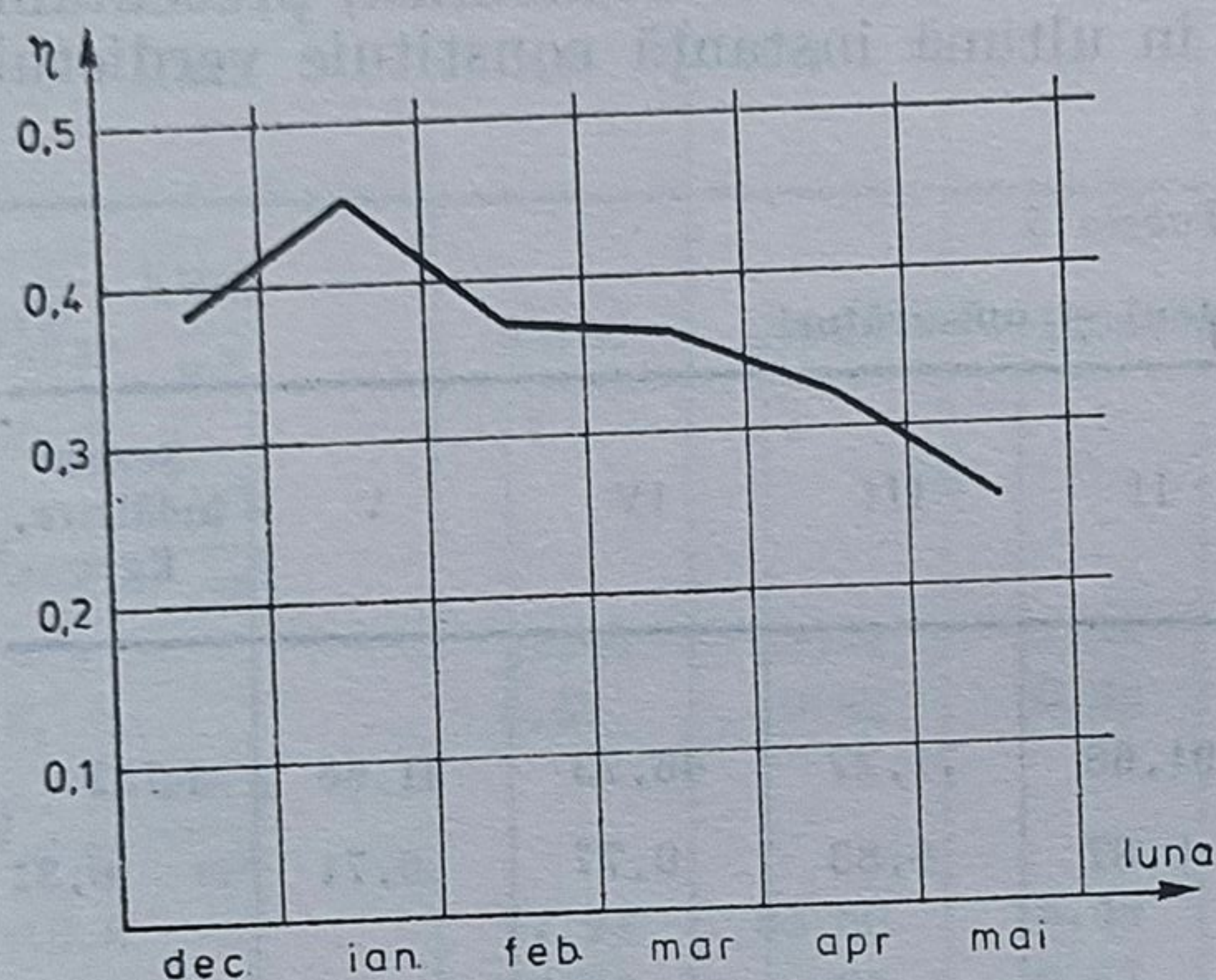


Fig. 4. — Casa solară CS 1 Cîmpina.

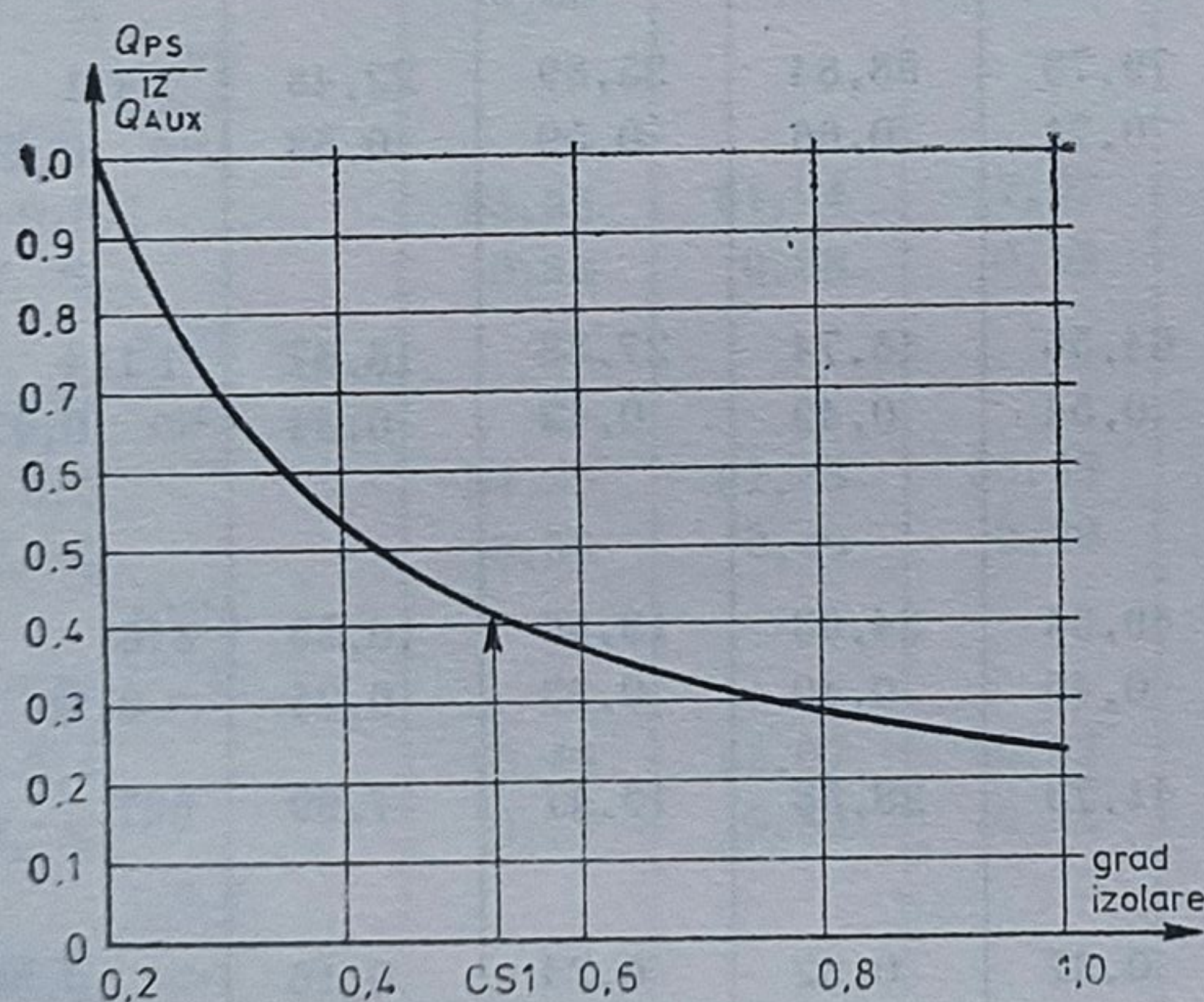


Fig. 5. — Corelații energetice.

Continuînd cantitativ un punct de vedere exprimat calitativ [4] de cercetătorii INCERC în problema utilizării energiei solare, punct de vedere care subliniază corelația existentă între caracterul climei și structura elementului de captare, același grup de cercetări a elaborat un model matematic de analiză climatică dinamică a caselor solare, sistem pasiv.

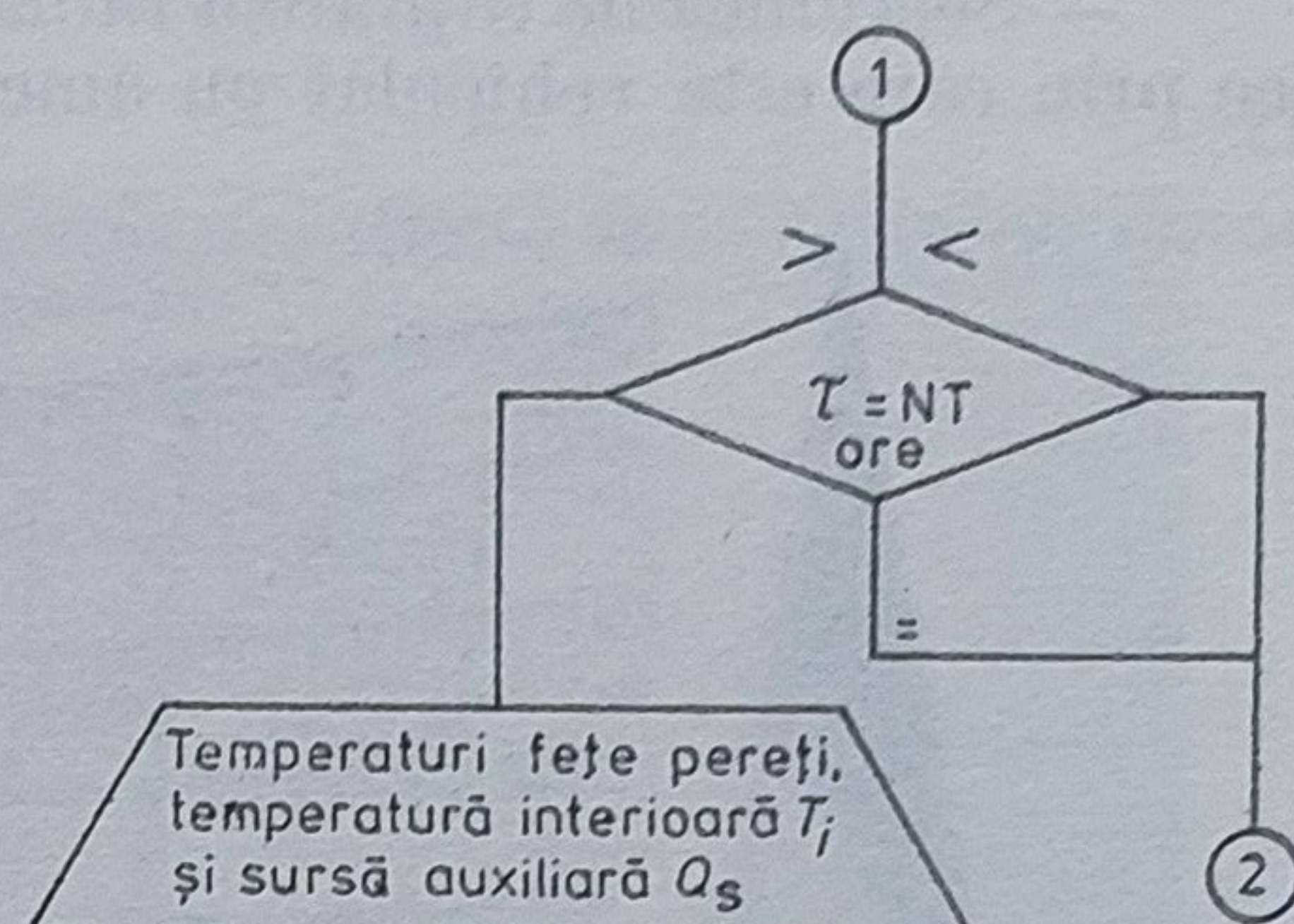
Structura schematică a programului este prezentată în figura 6.

Dificultatea modelului constă în realizarea bilanțului termic al unei celule structurate geometric conform unei camere de locuit în regim tranzitoriu de schimb de căldură cu exteriorul.



În rezolvarea comportamentului termic al pereților nu s-a utilizat ipoteza clasică de solicitare armonică aplicată unui spațiu semiinfinit omogen, preferându-se o metodă originală de compunere prin convoluție a răspunsurilor termice datorate unor impulsuri unitare aplicate pe conturul pereților [3].

Fig. 6. — Organigrama programului de calcul.



Conform metodei, fluxurile termice caracteristice suprafețelor plane  $x = 0$  și  $x = \delta$  ale pereților solicitați de vectorii de temperatură  $\{T_0\}$  respectiv  $\{T_\delta\}$  sînt date de relațiile :

$$q_0 = \{X^{(1)}\}\{T_0\} + \{Y^{(1)}\}\{T_\delta\}, \quad q_\delta = \{X^{(1)}\}\{T_\delta\} + \{Y^{(1)}\}\{T_0\}, \quad (10)$$

în care  $\{X^{(1)}\}$  și  $\{Y^{(1)}\}$  sînt matricele fluxurilor termice unitare pe suprafețele  $x = 0$  respectiv  $x = \delta$ .

Disponind de această metodă s-a putut analiza influența vitrajului, structurii peretelui captator și al tipului de climă asupra economiei de energie a unei celule structurale. Concluziile primelor teste arată următoarele :

— realizarea locuințelor cu suprafață de captare exclusiv vitrată conduce la consumuri maxime de energie și la deteriorarea factorului de utilizare a energiei solare [4];

— se recomandă realizarea unor locuințe cu desfășurare pe vertical diminuîndu-se numărul de camere tip parter sau etaj final;

— în condițiile regimului climatic al României se recomandă utilizarea peretelui captator realizat din BCA în locul pereților confecționați din beton masiv, cîștigul energetic fiind de circa 12%.

Concluzia experimentului de față arată că se poate trece imediat la aplicarea practică a sistemelor de încălzire solară pasivă în România iar gradul de izolare al caselor solare va coborî sub 60% din actuala cotă de izolare.

Contribuția termică a peretelui captator este circa 15 kgcc/m<sup>2</sup> sezon, iar costul unității de energie solară este de 0,16 lei/kWh; pentru cazul cînd durata de recuperare a investițiilor suplimentare este de circa 12 ani. Recuperarea energetică a unei case solare față de casa tradițională este de circa 60% în condițiile climatice ale României și păstrînd indicii constructivi și economici de mai sus.



4.1.2. Sistem activ de încălzire solară — Casă solară CS 2  
Cîmpina — INCERC București 1977 (fig.7)

Concepută sub forma unui hibrid experimental această casă capătă prin structură și funcționalitate trăsăturile specifice unei case solare. Se compune din trei secțiuni principale :

— Secțiunea de captare a radiației solare realizată din panouri metalice prin care este vehiculat un amestec de apă cu etilen glicol 50 %.

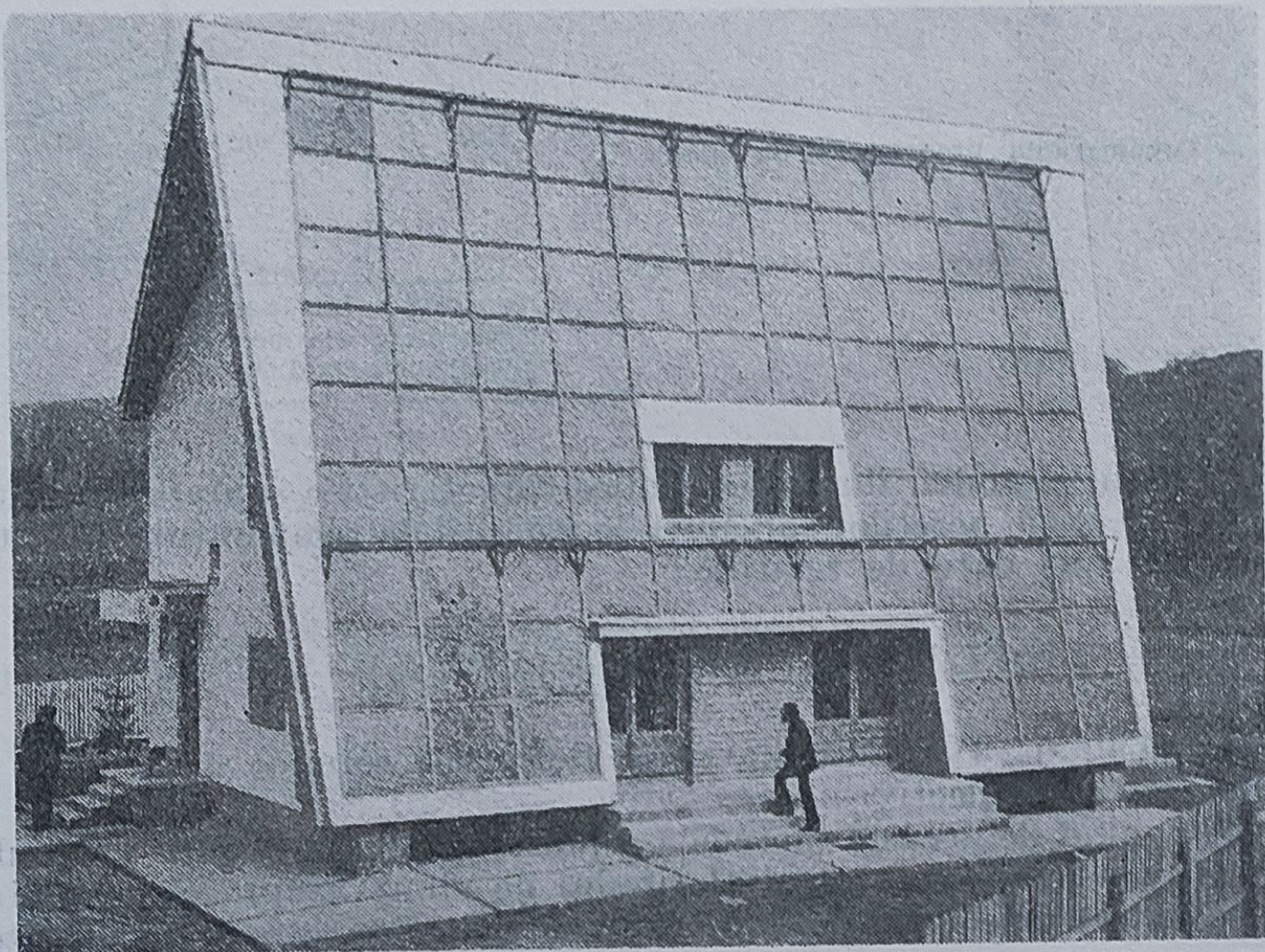


Fig. 7. — Casa solară CS 2 Cîmpina.

— Secțiunea de stocare a căldurii realizată din rezervoare cu apă. Joncțiunea termică a celor două secțiuni este realizată de un schimbător de căldură de tip special.

— Secțiunea de livrare a căldurii în spațiul de locuit realizată din corpuri de încălzire special adaptate condițiilor de funcționare a casei solare.

În lucrarea de față se prezintă o succintă analiză teoretică a sistemului activ de încălzire solară avîndu-se în vedere influența a doi factori :

— modul de amplasare a sursei auxiliare de căldură ;  
— caracteristica termică a corpurilor de încălzire cu care se echi-pează casele solare.

Modelarea matematică, cuprinzînd succesiunea funcțională a tuturor echipamentelor specifice instalației solare, s-a realizat conform schemelor de calcul din fig. 8a și 8b.

Fiecare din scheme ilustrează un mod de conexiune posibil de a fi realizat, iar modelul matematic aferent evidențiază diferențierile, teoretic, remarcate.



Ecuatiile caracteristice sînt în ordine, următoarele :

— Sursa auxiliară montată în paralel cu sursa solară.

a. Ecuația temperaturii

$$\left( \frac{2Cu + E - \sqrt{\Delta}}{2Cu_0 + E - \sqrt{\Delta}} \cdot \frac{2Cu_0 + E + \sqrt{\Delta}}{2Cu + E + \sqrt{\Delta}} \right)^{\frac{E}{2\sqrt{\Delta}}} / \sqrt{\frac{Cu^2 + Eu - D}{Cu_0^2 + Eu_0 - D}} = \exp(C\tau), \quad (11)$$

în care  $u = t_A - t$  iar  $C, E, D, u_0, \Delta$ , sînt constante în funcție de caracteristica sistemului [4].

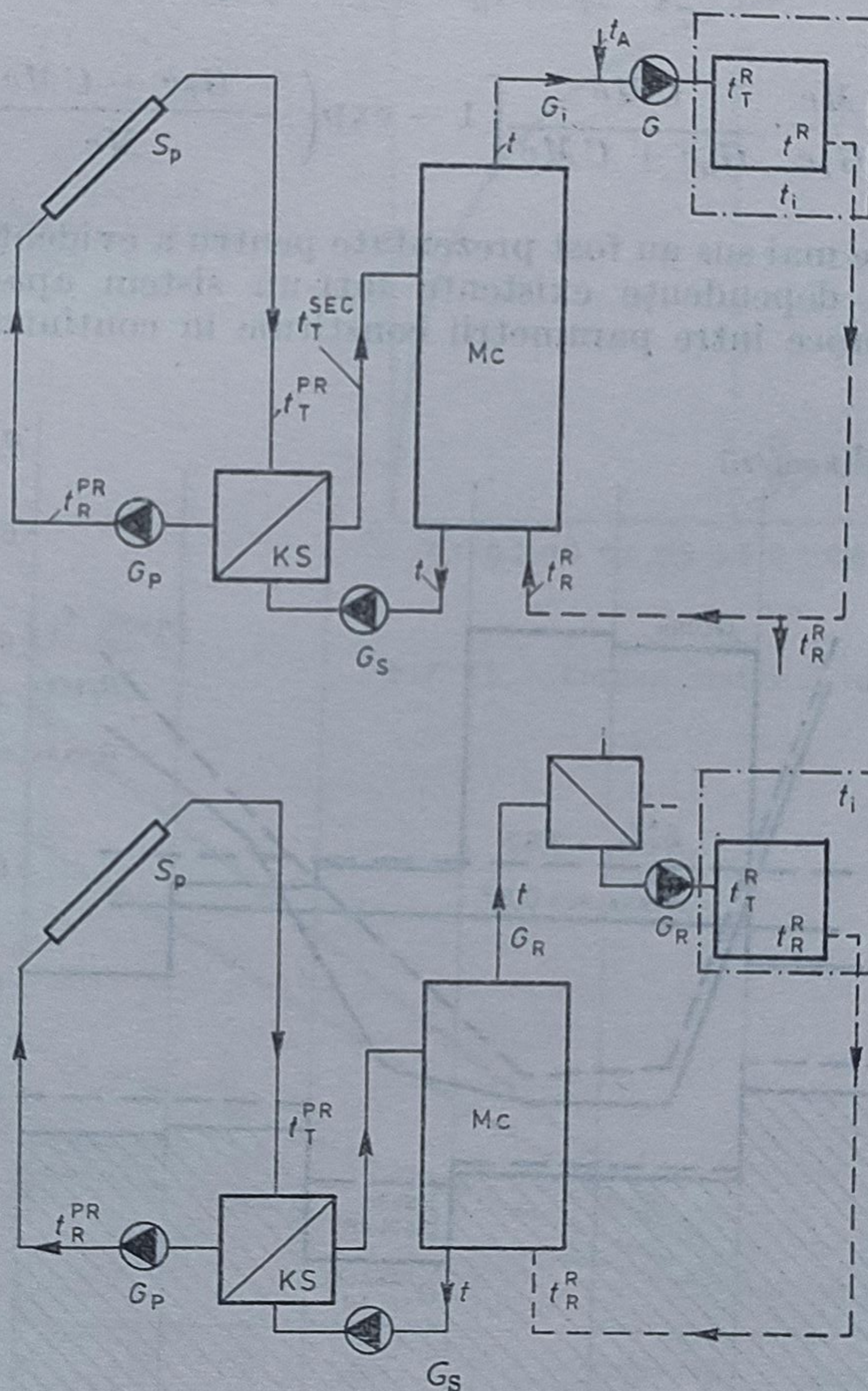


Fig. 8. — Scheme de calcul pentru echipamente și instalații solare.

b. Ecuația energetică

$$R = \frac{1}{24} \int_0^{\tau_f} \frac{t_A - t_T^R}{t_T^R - t_R^R} \left( \frac{t_A - t_R^R}{u} - 1 \right) d\tau + \frac{Mc}{24G_R c} \cdot \frac{t_f - t_R^R}{t_T^R - t_R^R}. \quad (12)$$



— Sursa auxiliară montată în serie cu sursa solară.

a. Ecuația temperaturii

$$t = t_R^R \exp\left(-\frac{G_R c + C M c}{M c} \tau\right) + \frac{G_R c t_R^R + C M c B_j}{G_R c + C M c} \left[1 - \exp\left(-\frac{G_R c + C M c}{M c} \tau\right)\right]. \quad (13)$$

b. Ecuația energetică

$$R = \frac{\tau^*}{24} \cdot \frac{B_j - t_R^R}{t_T^R - t_R^R} \cdot \frac{C M c}{G_R c + C M c};$$

$$\tau^* = \tau_f + \frac{M c}{G_R c} \cdot \frac{C M c}{G_R c + C M c} \left[1 - \exp\left(-\frac{G_R c + C M c}{M c} \tau_f\right)\right]. \quad (14)$$

Ecuațiile de mai sus au fost prezentate pentru a evidenția cantitativ multitudinea de dependențe existente într-un sistem aparent simplu. Influențele reciproce între parametrii constituie în continuare obiect de

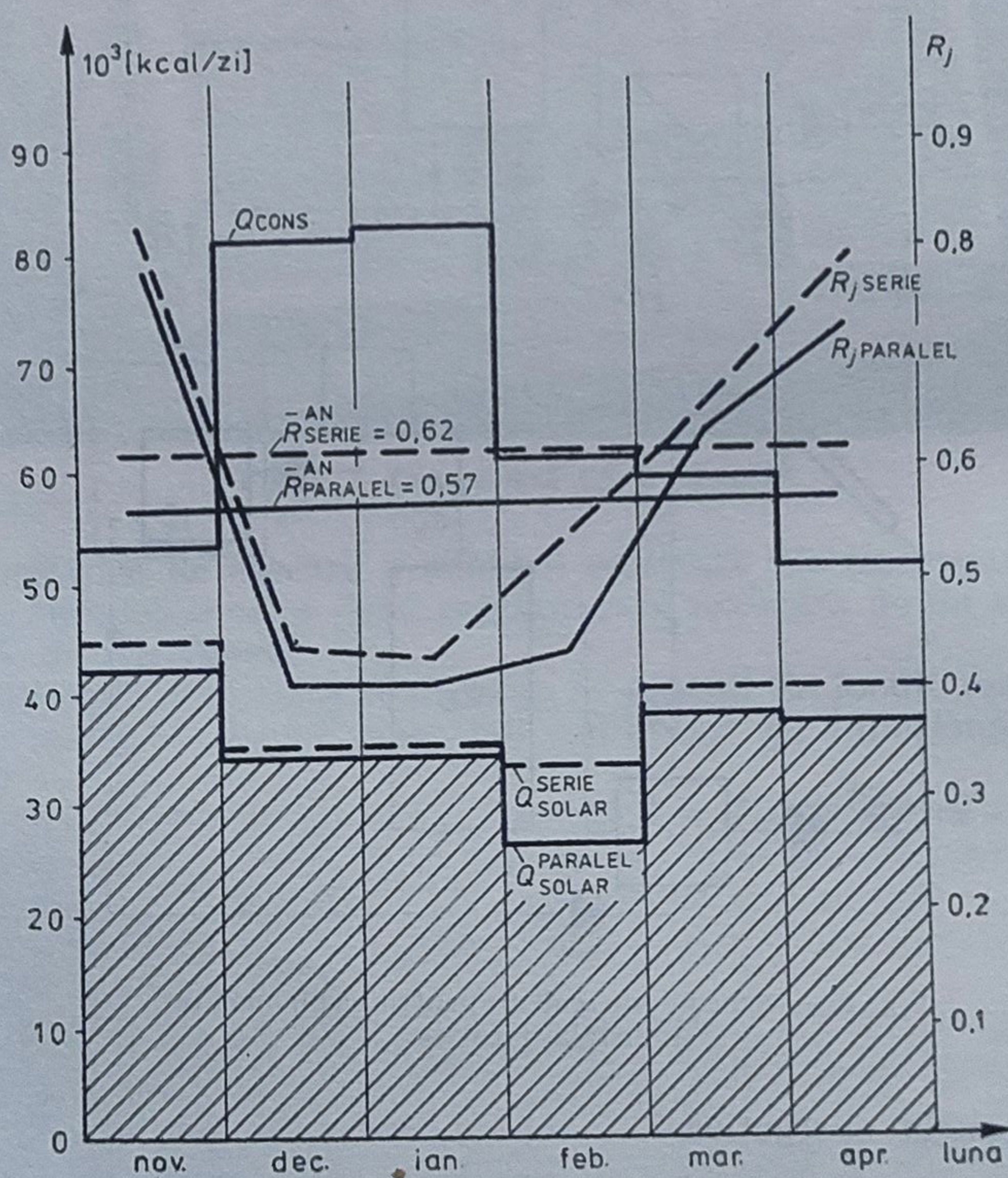


Fig. 9. — Rezultate de calcul comparative.



studiu, regimul tranzitoriu în care se produc toate schimburile de căldură, trebuind să fie binecunoscut în scopul stăpînirii confortului termic prin elemente de automatizare adecvate.

Aplicînd ecuațiile de mai sus în cazul concret al casei solare românești CS 2 Cîmpina se obține o diferențiere notabilă în modul de funcționare al celor două sisteme analizate (fig. 9). Valoarea procentuală de circa

Fig. 10. — Corpuri statice — radiator.

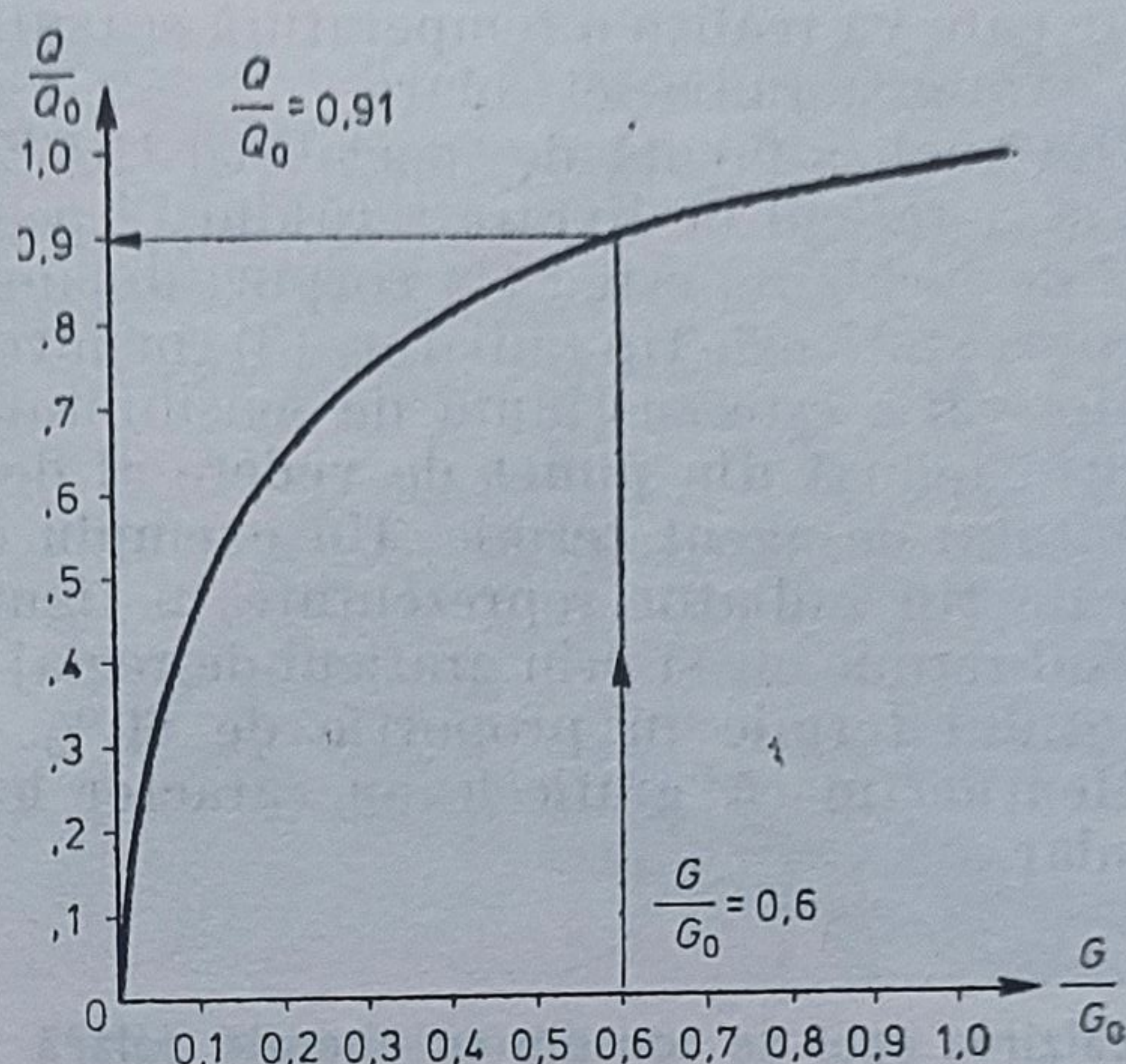
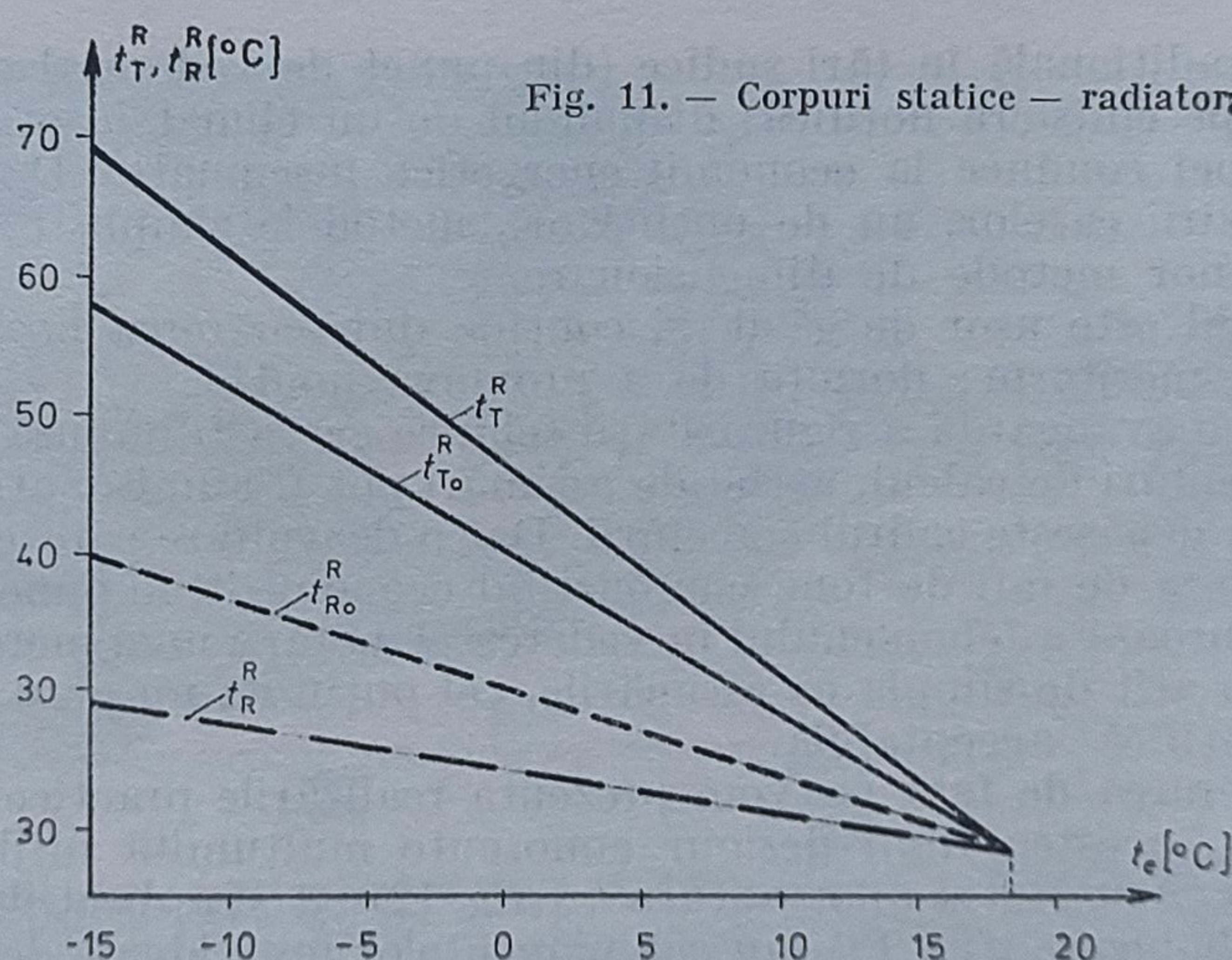


Fig. 11. — Corpuri statice — radiator.



9% care diferențiază cele două sisteme este importantă prin faptul că afectează o recuperare energetică de combustibil tradițional pe seama unei surse sigure dar greu de stăpînit tehnologic — energia solară.

Spre deosebire de sistemul de încălzire solară — pasivă unde comentariile din text pot folosi chiar și unei proiectări a sistemului, în cazul de față ne limităm numai la a teoretiza sistemul, proiectarea sa rămînînd



încă o problemă de studiu atât în România cât și în celelalte țări ale lumii. Calculele care se fac au mai mult caracterul unor estimări [5], multe din deciziile proiectului fiind luate datorită unor experimentări care au furnizat indici globali cu valori oricând posibil a fi criticate.

Astfel una din problemele de bază ale încălzirii solare este corpul de încălzire și viz-a-vi de aceasta eficiența de captare a radiației solare. Corelarea acestor două noțiuni este destul de ușor de sesizat. Un corp de încălzire care va realiza o temperatură scăzută a agentului termic va favoriza și captarea radiației solare.

Din analiza făcută de specialiștii INCERC rezultă că ordinea adaptărilor la „graficul de livrare a căldurii” pentru categoriile cunoscute de corpuri de încălzire, este: (1) corpuri dinamice de tip ventilo-convectiv, (2) corpuri statice de tip radiator, (3) corpuri statice de tip panou radiant.

Motivația este susținută de sensibilitatea lor termică mai mult sau mai puțin redusă din punct de vedere al debitului caloric, la modificări ale debitului de agent termic. Un exemplu concludent îl oferă corpurile statice de tip radiator reprezentate în figura 10 și figura 11 atât prin răspunsul termic cât și prin graficul de reglaj adecvat modificării de debit al agentului termic în proporție de 60%.

Menționăm că graficele au caracter legic și nu reprezintă un caz particular.

#### 4.2. Încălzirea apei de consum cu energie solară

Devenită tradițională în țări sudice (din punct de vedere al comentatorului aflat pe emisfera nordică) dispunând de un climat însorit, practica încălzirii apei conduce la economii energetice însemnate. Dar, ca și în cazul încălzirii caselor, nu de puține ori, metodele simpliste de analiză iau locul unor metode de dimensionare.

Motivul este ușor de găsit și conține după părerea noastră, chiar un element meritoriu; dorința de a promova noul!

Fiind o avangardă a rigurozității tehnice ce va fi impusă de viitoarele reglementări de calcul, astfel de estimări pot fi admise, atât timp cât acțiunea nu depășește cadrul cercetării. Dar o dezvoltare care echivalează cu zeci și sute de mii de tone combustibil economisit impune o analiză termică riguroasă a fenomenului în vederea elaborării unei metode de calcul dacă nu atât de simplă ca estimările, cel puțin cu un grad de rigurozitate științifică acceptabilă.

În lucrarea de față nu vom prezenta realizările practice românești în domeniu, acestea fiind desigur cunoscute mulțumită mijloacelor de mass-media. Atât stația pilot Saturn 78 (fig. 12) cât și aplicațiile destinate stațiunilor balneare (fig. 13) sau echipamentelor individuale de producere a apei calde (toate realizări INCERC) sînt la această oră elemente de referință pentru energetica solară românească. Depășind stadiul istoric al acestor realizări, proliferarea sistemelor este condiționată, pe lângă necesitatea lor de a fi și de rigurozitatea tehnico-economică a soluțiilor adoptate.

Rezultatul unei astfel de preocupări a colectivului de cercetare din INCERC București se exprimă printr-o serie de relații de calcul originale cu importanță practică [6].



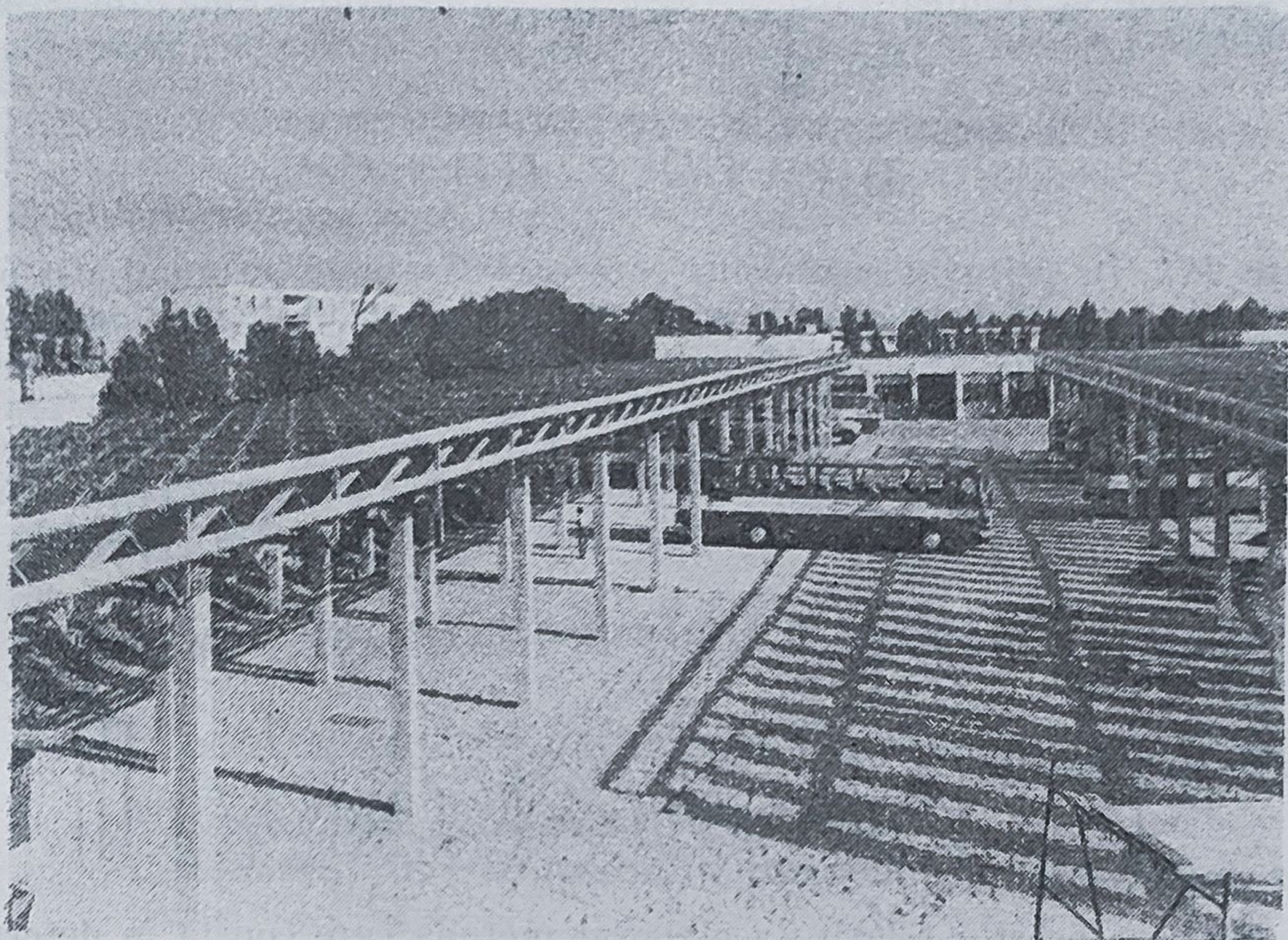


Fig. 12. — Stația pilot Saturn 78.

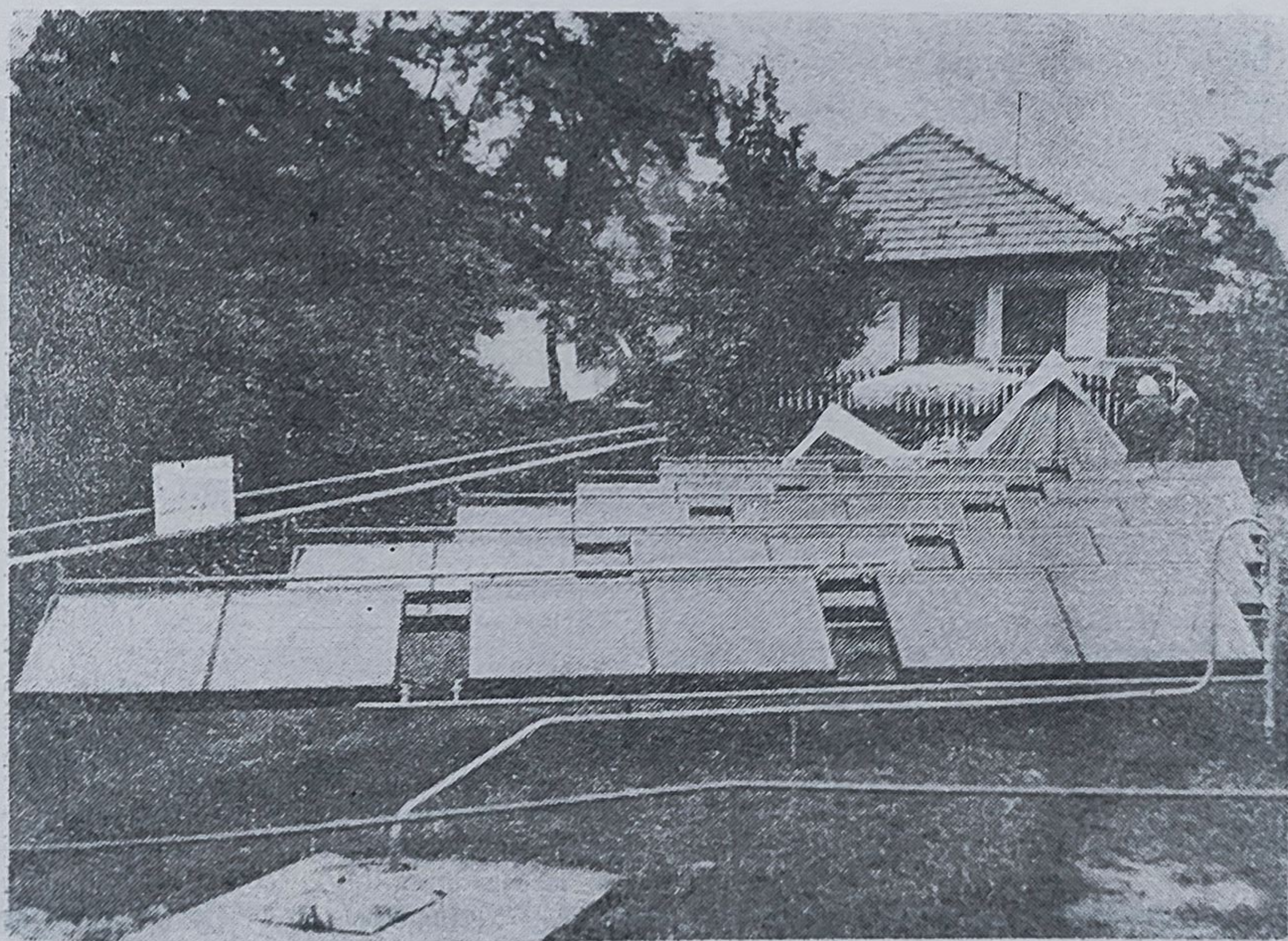


Fig. 13. — Echipamente solare pentru producerea apei calde.



a. Ecuația temperaturii — valoarea temperaturii apei din sistem la momentul  $n$

$$\vartheta_n = \sum_{j=1}^n \frac{Q(j)}{\prod_{k=j}^n [1 + P(k)]} + \frac{\vartheta_0}{\prod_{k=1}^n [1 + P(k)]}, \quad (15)$$

în care  $P(k, j)$ ,  $Q(j)$  sînt coeficienți care caracterizează sistemul atît prin echiparea sa tehnică cît și prin graficul de consum al apei calde.

b. Ecuația energetică 1 AC — energia acumulată în sistem la momentul  $n$

$$Q_{AC}^n = Mc \left\{ \sum_{j=1}^n \frac{Q(j)}{\prod_{k=j}^n [1 + P(k)]} - \vartheta_0 \left\{ 1 - \frac{1}{\prod_{k=1}^n [1 + P(k)]} \right\} \right\}. \quad (16)$$

c. Ecuația energetică 2 DR — energia livrată la momentul  $n$

$$Q_{DR}^n = \sum_{p=1}^n \left\{ G_{CONS}(p) \left\{ \sum_{j=1}^p \frac{Q(j)}{\prod_{k=j}^p [1 + P(k)]} - \vartheta_0 \left\{ 1 - \frac{1}{\prod_{k=1}^p [1 + P(k)]} \right\} \right\} \right\}. \quad (17)$$

Pe baza acestor relații s-a elaborat metoda care constă în determinarea unei temperaturi inițiale  $\vartheta_0$  în funcție de gradul de acoperire energetică și de coeficientul de utilizare „c.u.” al energiei solare [6]. Prin rezol-

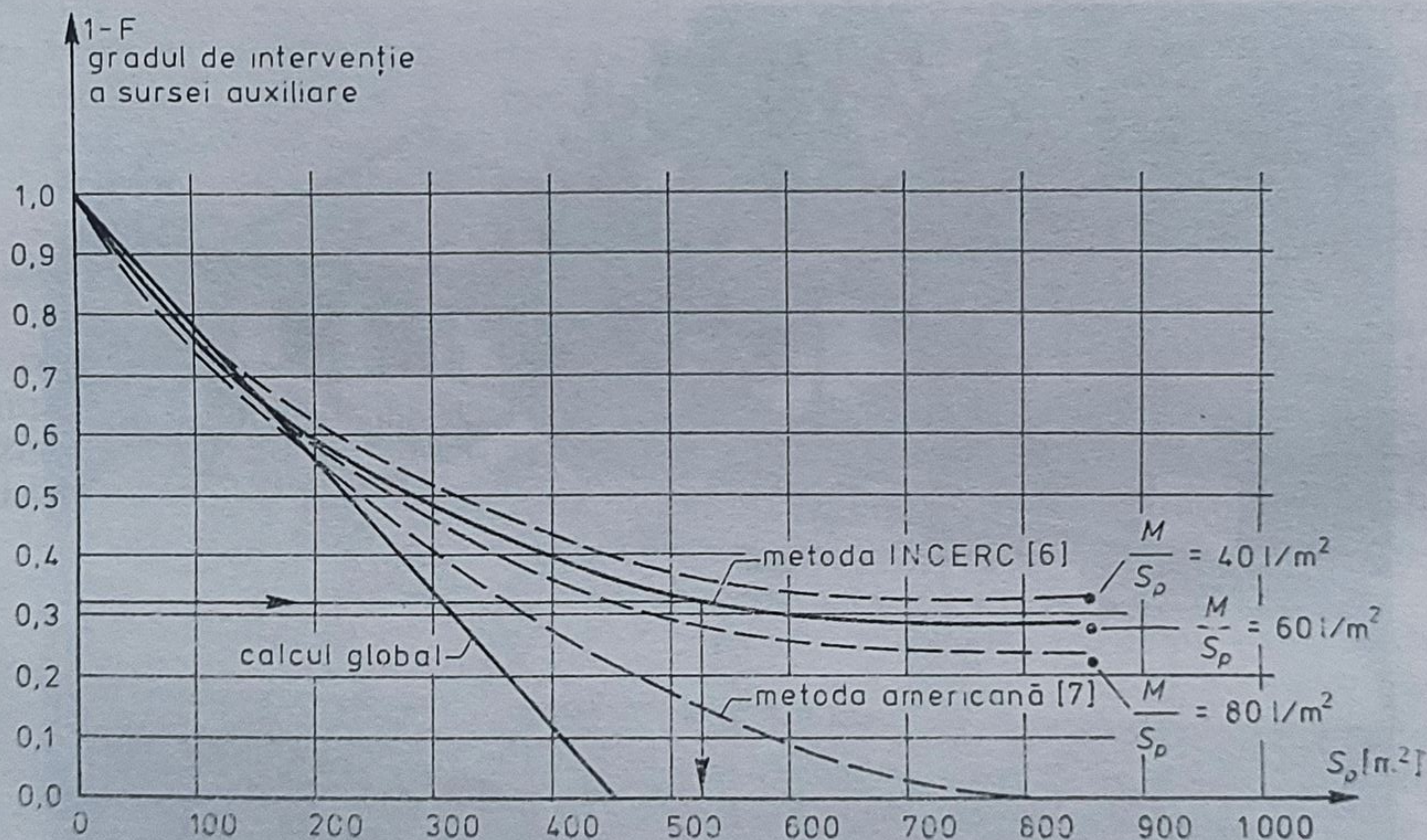


Fig. 14. — Rezultate de calcul.

varea problemei se realizează o corelație între gradul de acoperire și suprafața de captare pentru diferite volume de stocaj termic.

Pentru un caz concret [6] alura curbelor de corelare, după metoda INCERC, este prezentată alături de metoda globală clasică și de o metodă



americană [7]. Concuzia este interesantă: nu se pot face dimensionări corecte cu metoda globală decât pentru acoperiri de maxim 40 % (fig. 14); se poate utiliza metoda americană [7] numai pînă la acoperiri de maxim 60 % (fig. 14).

## 5. Încheiere

Lucrarea de față se dorește înainte de toate o pledoarie în favoarea a două acțiuni: implementarea rapidă a energiei solare în domeniul „energiilor domestice”; continuarea și diversificarea cercetărilor de natură fundamental-aplicativă într-un domeniu în care graba aplicării practice nu trebuie să greveze adevărul tuturor dificultăților de ordin conceptual, legate de aplicarea corectă a energiei solare.

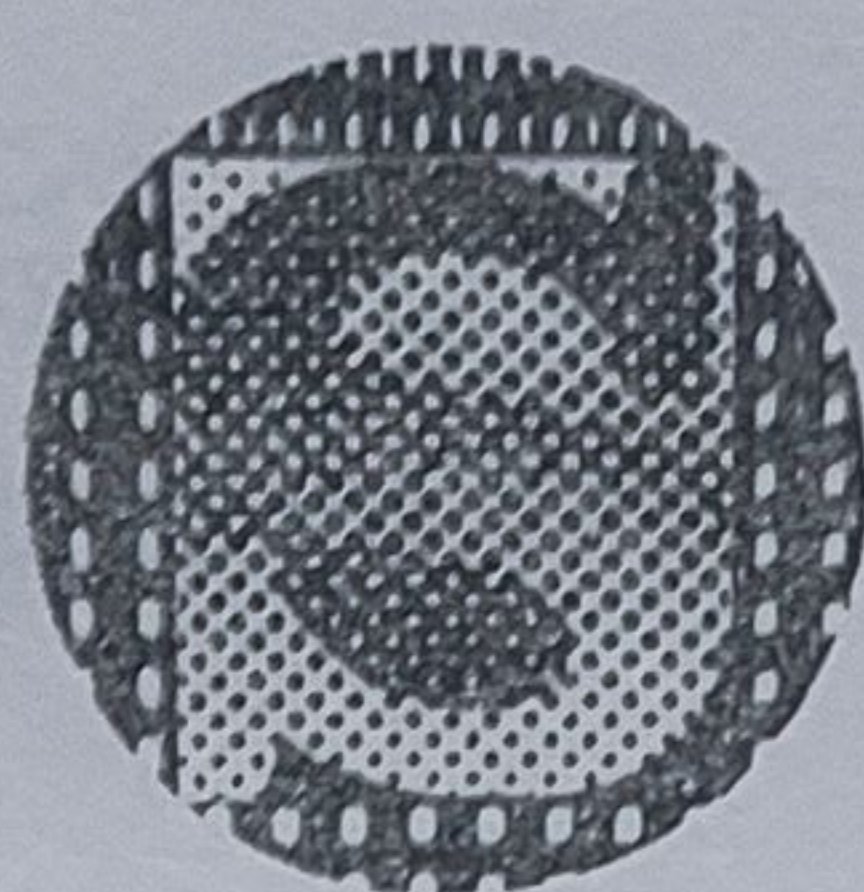
### LISTA DE NOTĂȚII:

$t_i$	— temperatura agentului termic la intrarea în spațiul serei de captare, [°C]
$t_e$	— temperatura exterioară, [°C],
$\Delta t_i$	— diferența între temperatura interioară și temperatura exterioară, [°C],
$t_p$	— temperatura pe suprafața exterioară a peretelui captator, [°C],
$t$	— temperatura apei din rezervorul de stocaj termic la momentul $\tau$ , [°C],
$t_A$	— temperatura apei livrată de sursa auxiliară de căldură, [°C],
$\alpha_{e,K,K''}$	— coeficienți de transfer de căldură convectiv, și global, [kW/m <sup>2</sup> °C]
$Q_{AUX}$	— fluxul de căldură al sursei auxiliare raportat la unitatea de suprafață de captare a radiației solare, [kW/m <sup>2</sup> ],
$Q_{PS}$	— fluxul de căldură aferent peretelui solar captator, [kW/m <sup>2</sup> ],
$I$	— intensitatea radiației solare pe suprafața de captare, [kW/m <sup>2</sup> ]
$KS$	— coeficientul global de transfer de căldură [kW/°C],
$GR$	— debitul de agent termic vehiculat prin corpurile de încălzire, [kg/h],
$G_{CONS(j)}$	— debitul de apă caldă cerut de consumatori la momentul $j$ , [kg/h],
$M$	— masa stocajului termic, [kg].

### Bibliografie

1. \* \* \* Studiu de fundamentare privind reducerea consumului de energie în construcții noi și existente (INCERC), 1978.
2. \* \* \* Studiu asupra posibilităților de valorificare a energiei solare în România (IMH), 1973.
3. \* \* \* Utilizarea energiei solare la încălzirea locuințelor individuale (INCERC), 1977.
4. \* \* \* Idem, 1978.
5. PH. CHOUARD ș.a., *Bilan thermique d'une maison solaire*, Eyroles, 1977.
6. \* \* \* Stație pilot pentru prepararea apei calde cu ajutorul energiei solare (INCERC), 1978.
7. KREITH și KREIDER, *Preliminary design and economic analysis of solar-energy systems for heating and cooling of buildings*, Solar energy, 1976.





# Bioenergetica solară



Valer STOICA\*),  
Șerban CONSTANTINESCU\*),  
Gheorghe  
MENCINICOPSKI\*)

Ceea ce caracterizează Terra față de tot ceea ce cunoaștem referitor la celelalte planete, este *biosfera sa*, sistem ecologic de o copleșitoare diversitate și complexitate, prin care materia anorganică este convertită direct sau indirect cu intervenția energiei solare în „materie vie”.

Supusă legilor termodinamicii, în ansamblul său, biosfera trebuie privită ca un sistem deschis, legătura energetică dintre Cosmos și Pământ fiind realizată printr-un complex ciclu trofic, a cărui primă verigă o reprezintă procesul de fotosinteză a plantelor.

Așa cum se ilustrează în figura 1, sub acțiunea energiei radiante a soarelui, fototrofele ca producători primari, transformă prin asimilarea clorofiliană, energia radiantă a Soarelui, în energie chimică acumulată în produșii fotosintezei, realizând astfel legătura energetică între Pământ și Soare. Deși randamentul conversiei ar apare în valoare relativă nesemnificativ de aproximativ 3%, volumul energiei astfel captată și înmagazinată anual într-o *formă chimică stabilă* este uriaș, depășind de aproape 10 ori nevoile actuale de energie ale omenirii, căreia pe această cale biosfera îi asigură însăși existența ca alimentație și condiții de trai. Se apreciază astfel că întreaga populație a globului utilizează pentru alimentație mai puțin decît 0,3% din carbonul fixat prin fotosinteză.

Energia solară stocată sub forma energiei chimice de către acești producători primari, este apoi transformată cu diferite randamente la diferite niveluri trofice. Cu cît lanțul trofic este mai lung, trecînd de la consumatorii primari (erbivore) la cei se-

#### Biomass — biogas

An elaborate analysis for introducing biomass and biogas for energetic purposes is presented. Original research and project activities in the above field obtained at ICA — Bucharest are also emphasized. Economic considerations for biomass — biogas implementation within the energy vector are reported.

\*) Institutul de chimie alimentară.



cundari și terțiari, inclusiv omul și îndepărtându-se de producătorii primari, cu atât randamentele de transformare a energiei primare sînt mai scăzute. Moartea acestora, eliberează materia organică din sfera biotică,

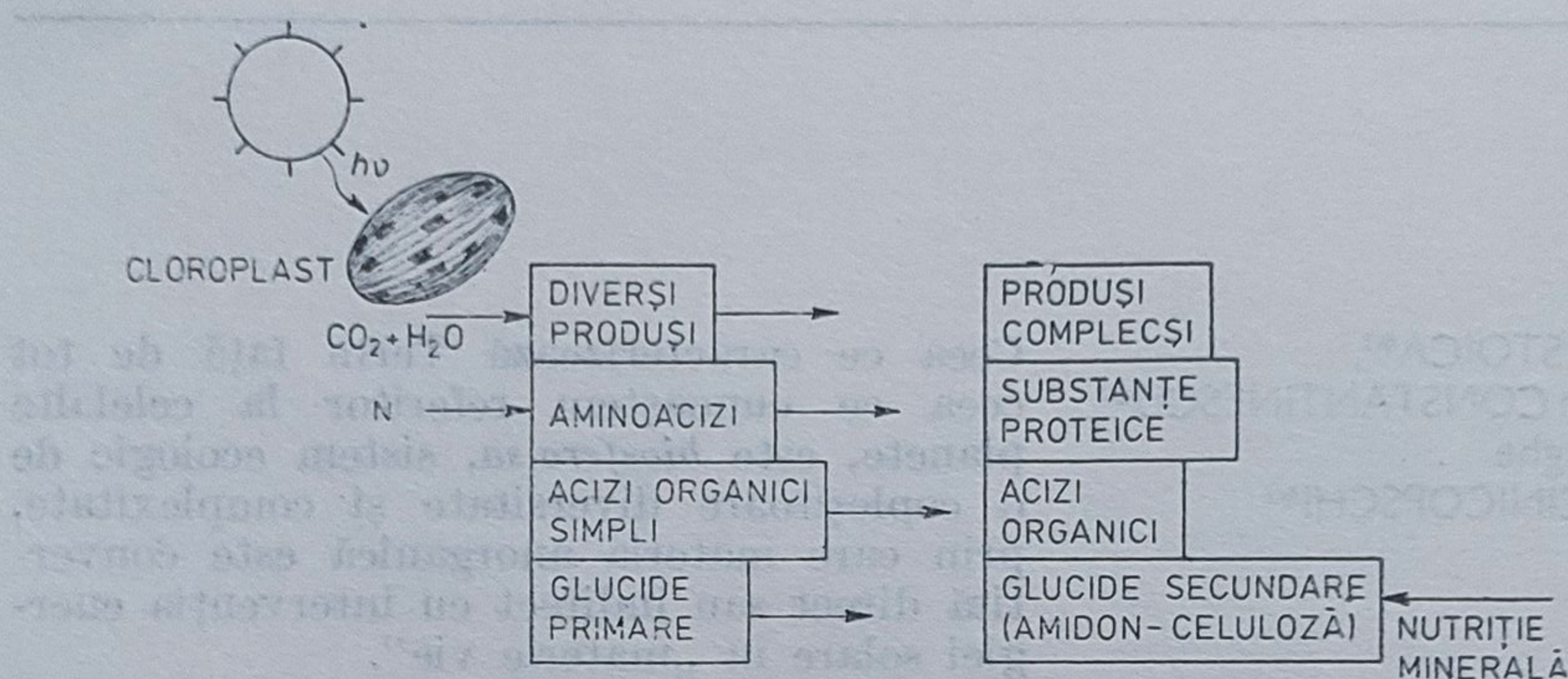


Fig. 1. — Producții fotosintezei (modificat după Al. Ionescu).

dar nu o privează de energia solară stocată în ea sub forma energiei chimice, ci prin intermediul ciclului trofic aceasta reîntră în procesul fotosintetizant.

Cu toată această uriașă rezervă de energie solară stocată prin ciclul trofic al biosferei, resursele efectiv și posibil de utilizat actualmente de omenire în vederea satisfacerii nevoilor sale, în primul rînd alimentare, sînt departe de a fi valorificate la nivelul disponibilităților. În aceste condiții așa cum se știe subnutriția și malnutriția au ca victime peste 1,5 miliarde de oameni și problematica relației populație-resurse este cheia viitorului societății umane.

Sînt puse în discuție astăzi atât carențele în produsele de tipul celor energetice (glucide, lipide) cît și cele proteice, sub incidența atât a alimentației umane nemijlocite, cît și furajării animalelor ca resurse de hrană umană. În acest timp o uriașă masă de resurse vegetale neclasice, plante ca atare sau deșeuri agricole nu sînt încă rațional valorificate cu toate că ele reprezintă energia solară stocată chimic. Mai mult chiar scăpînd atenției, și preocupărilor, devin poluanți ai mediului.

În lumina acestor fenomene, analiza ciclului trofic al conversiei energiei la diferite niveluri ale acestuia a scos în evidență și a pus la îndemîna omului, odată cu progresele actuale ale biologiei și tehnologiei, instrumentele bioingineriei, complex de științe și tehnici, capabile să pună în acțiune marea lume a microorganismelor. Acționînd în prezența oxigenului din aer *microorganisme aerobe*, sau în lipsa acestuia, ca *microorganisme, anaerobe*; microorganismele dezvoltate pe diferitele substraturi hidrocarbonate, în prezența azotului anorganic, pot converti aceste substraturi în substanță celulară proprie, fără a face apel la mecanismul fotosintezei, dar utilizînd energia solară stocată în substraturile respective. Astfel microorganismele pot converti polimerii hidrocarbonați cu randamente



superioare în proteinele propriilor lor protoplasme, dând așa numitele *biomase*.

Asupra acestor *biomase* își îndreaptă astăzi omenirea tot mai mult atenția, bioingineria aducându-și astfel aportul în valorificarea suplimentară a resurselor energetice stocate în biosferă, și punând microorganismele să lucreze coordonat și subordonat intereselor omului prin tehnologii industriale tot mai perfecționate și dezvoltate.

În aceste condiții în ultimii 20 de ani producția industrială de biomase a cunoscut o dezvoltare de mare volum și este în continuă extindere datorită progreselor biologiei moleculare, descoperirii unui evantai tot mai larg de microorganisme consumatoare a unor surse energetice neconvenționale (de exemplu deșeuri petroliere, metanol, etanol, deșeuri celulozice).

Principalii factori care au determinat *explozia tehnologiilor producătoare de biomase* îl constituie specificul dezvoltării microorganismelor la temperaturi curente de  $20 \div 50^{\circ}\text{C}$  (în medie  $30 \div 35^{\circ}\text{C}$ ), cu aport energetic extern redus, în condiții de pH moderat, cu randamente de conversie ridicate (de exemplu 100 g. hidrați de carbon pot fi convertiți în  $25 \div 33$  g proteină) timp de generație scurt: 20 minute  $\div$  5 ore, cu o epuizare avansată a mediilor, în instalații industriale, complementând astfel hectarele de sol acoperit cu plantații și crescătoriile zootehnice.

În aceste condiții *biomasele* pot fi considerate ca recuperatoare de energie solară convertită și stocată ca energie chimică, dar pierdută ca deșeu. Biomasele reintroduc în ciclul trofic această energie, și o dau ca rezultat al unui proces biotic sub forma concentrată a proteinelor celulare proprii. Astfel biomasele bacteriene au un conținut proteic de  $40 \div 70\%$  din substanța lor uscată; levurile  $40 \div 50\%$ ; fungii filamentoși  $10 \div 70\%$  iar algele unicelulare  $10 \div 60\%$ .

Fără a intra în detaliile tehnologiilor obținerii biomaselor, a selecționării și producerii microorganismelor specifice, a acțiunilor de obținere a unor noi mutante, superior funcțional, se relevă faptul că prin dezvoltarea acestora în instalații industriale, de tipul bioreactoarelor se realizează în fapt o serie de *ecosisteme artificiale* conduse după voința omului și în slujba acestuia, în condiții tehnice și economice de mare eficiență.

Pentru a ilustra modul în care se materializează tehnologiile obținerii acestor biomase, în figura 2 se redă în principiu fluxul proceselor de obținere a biomaselor proteice utilizând ca substrat subproduse și deșeuri din agricultură și industria alimentară.

Cercetările extinse asupra obținerii de biomase s-au dezvoltat intensiv după 1960, îndreptându-se asupra drojdiilor ce consumă alcanii, bacterii ce oxidează metanolul, alge care cresc pe medii carbonatate, micete capabile să metabolizeze diferite tipuri de efluenți.

Cercetările la nivel de pilot și apoi producții industriale (de exemplu drojdii din *n*-parafine) au dus la obținerea de biomase furajere, verificate cu succes în nutriția animală.

Se disting două grupe de astfel de biomase: cele obținute prin cultivarea în instalații speciale a microorganismelor unicelulare — S.C.P. (single cell proteins) și biomase obținute prin cultivarea microorganismelor pluricelulare P.O.P.



Exemplificăm doar câteva din acestea prin :

— *Biomasele din n-parafine*, obținute prin culturi de *Candida* sp. cu randamente de 3 kg biomasă m<sup>3</sup>/oră, biomase pentru care ICA, a realizat în țară o tehnologie proprie, verificată industrial cu o producție

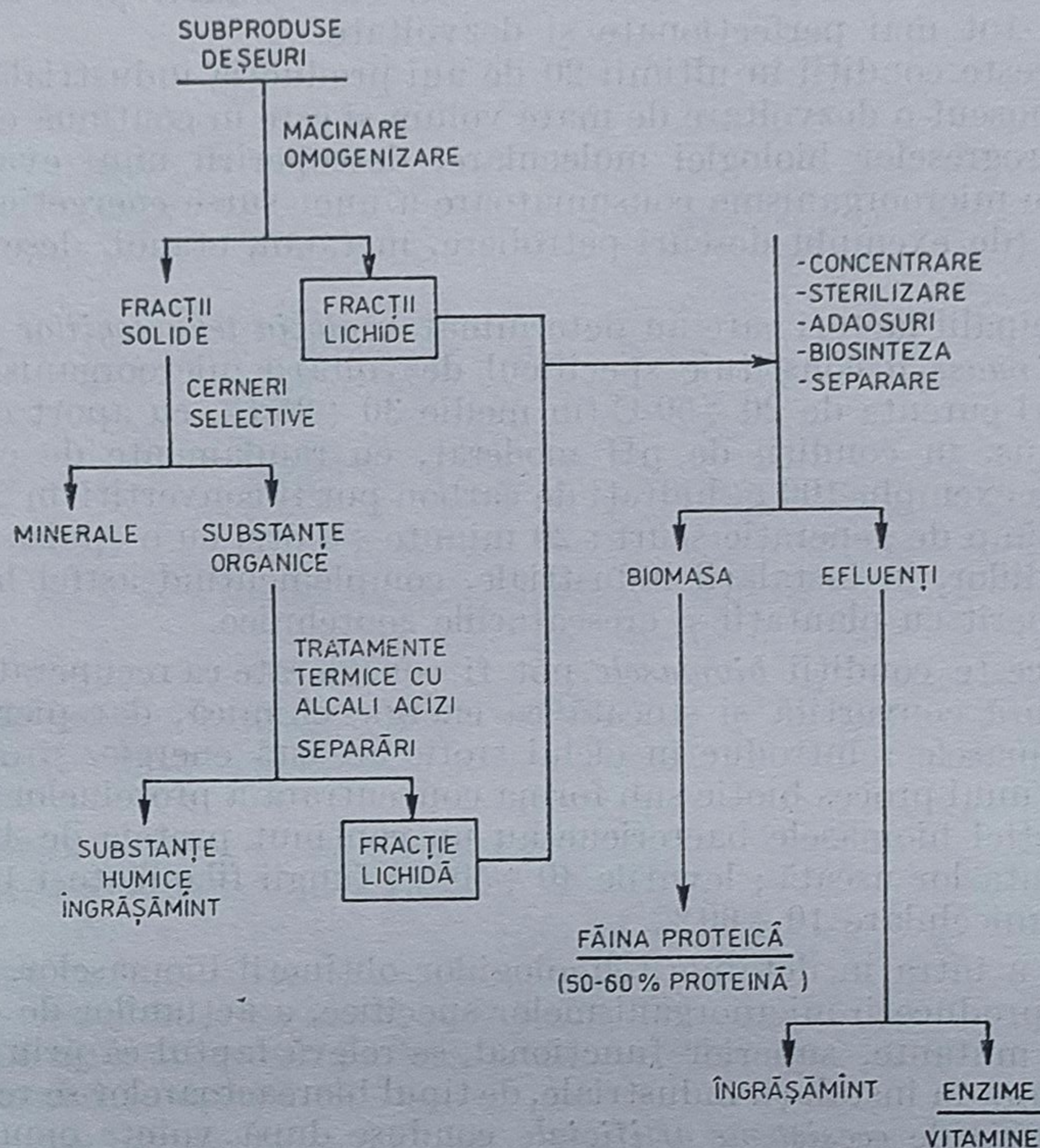


Fig. 2. — Schema de obținere a biomaselor proteice utilizând ca substrat subproduse și deșeuri din agricultură și industria alimentară.

experimentală într-o fabrică de spirt, testată cu rezultate pozitive în furajare. Prin instituirea societății mixte RONIPROT — Argeș s-a construit în colaborare cu Japonia prima fabrică de biomase din *n*-parafine.

— *Biomasele dezvoltate pe zer* folosind *Torula lactosa*, *Saccharomyces fragilis* — care asigură și încorporarea unor vitamine și a enzimei  $\beta$ -galactozidază ;

— *Biomasele din deșeuri celulozice*, agricole și industriale, cunoscându-se deja o serie de procedee de producere a proteinei microbiene din hidrolizate celulozice, folosind drojdiile din genul *Candida*. Astăzi se acționează însă tot mai accentuat pe folosirea micromicetelor celulozolitice polifage termofile pentru conversia celulozelor deșeu din agricultură ca



de exemplu utilizarea microorganismului *Aureobasidium pullulans* pentru obținerea biomaselor din paie, sau în mod eficient folosirea ca microorganisme celulozolitice a fungilor filamentoși, dintre care o atenție sporită se acordă microorganismelor *Trichoderma viride*, a căror mutante s-au dovedit deosebit de productive. În același sens *Sporotrichum thermophile* poate utiliza celuloza în concentrații mari producând cantități apreciabile de biomasă proteică și enzime celulozolitice, evidențiind avantajele utilizării de fungi celulozolitici termofili activi, și la temperaturi de incubatii înalte în instalații însă relativ simple.

Pe această cale în S.U.A. deșeurile de paie sînt prelucrate cu ajutorul microorganismului *Trichoderma viride* obținîndu-se pe lîngă biomaselor proteice, glucoză, etanol, enzime ș.a.

Utilizarea biomaselor proteice tinde însă să intre și în alimentația umană. Astfel cercetătorii din R. P. Bulgaria au elaborat o tehnologie prin care se obține un concentrat proteic, provenit din biomasa realizată cu *basidiomycete* — respectiv *Polyporus squamosus*, *Pleurotus ostreatus* pe medii de melasă sau glucoză. Se prevede în R. P. Bulgaria realizarea unei unități industriale cu o capacitate de 10 000 t/an, echivalent 40 ÷ 50 000 bovine pe an.

La noi în țară cercetările efectuate în ICA, au dus la stabilirea întregii tehnologii de obținere a biomaselor utilizînd *n*-parafine ca substrat, sînt în fază pilot tehnologiile de obținere de biomase proteice prin conversia deșeurilor grase de abator în proteină celulară (S.C.P.) și sînt în curs cercetări pentru obținerea unor microorganisme celulozolitice optim utilizabile în conversia substraturilor celulozice și hemicelulozice, deșeuri agricole sau rezultate din prelucrările industriei alimentare.

Se scontează pe obținerea unor biomase cu conținut minim de 20 ÷ ÷ 25 % proteine valorificînd astfel superior aceste resurse în furajarea animalelor. Integrate într-un program complex de cercetări de sporire a resurselor proteice pentru alimentația umană și furajarea animalelor, paralel cu incidențele privind depoluarea mediului, aceste cercetări acționează putem spune, într-un mod derivat în fapt pentru valorificarea în slujba omului a energiei solare primare, convertite și stocate, într-o acțiune trecută, ca energie chimică în substraturile vegetale, astfel introducîndu-se în ciclul trofic, surse secundare de energie implicate sub forma hranei, combustibilul metabolic. În aceste procese biotice microorganismele acționează așa cum s-a menționat deja într-o varietate excepțională, de posibilități și sensuri, în condiții aerobe sau anaerobe, în procese oxibiotice sau anoxibiotice, continui sau discontinui, în culturi de suprafață sau submerse. Metabolismele sînt în mod evident diferite iar metaboliții specifici. Oprindu-ne atenția în mod selectiv asupra microorganismelor anaerobe, trebuie să evidențiem rolul acestora în procesele de descompunere a materiilor organice moarte, ca depozitare de energie solară convertită în energie chimică, în întregirea fluxului și a lanțului trofic, readucînd în acest ciclu în paralel cu energia respectivă metaboliții esențiali în procesele de biosinteză.

Figura 3 ilustrează acest proces și pune în evidență, doi metaboliți de o deosebită importanță  $\text{CO}_2$  și  $\text{CH}_4$ . Primul reprezintă elementul care reintră în ciclul trofic al asimilației clorofilene, reîntregindu-l ca sursă de carbon. Al doilea reprezintă un deșeu al metabolismului, dar un deșeu



energetic condensând un potențial de energie chimică — un combustibil. Se obține astfel ca metabolit gazul într-un amestec ce se definește actualmente ca *biogaz*. Avem astfel prin aportul microorganismelor două mari

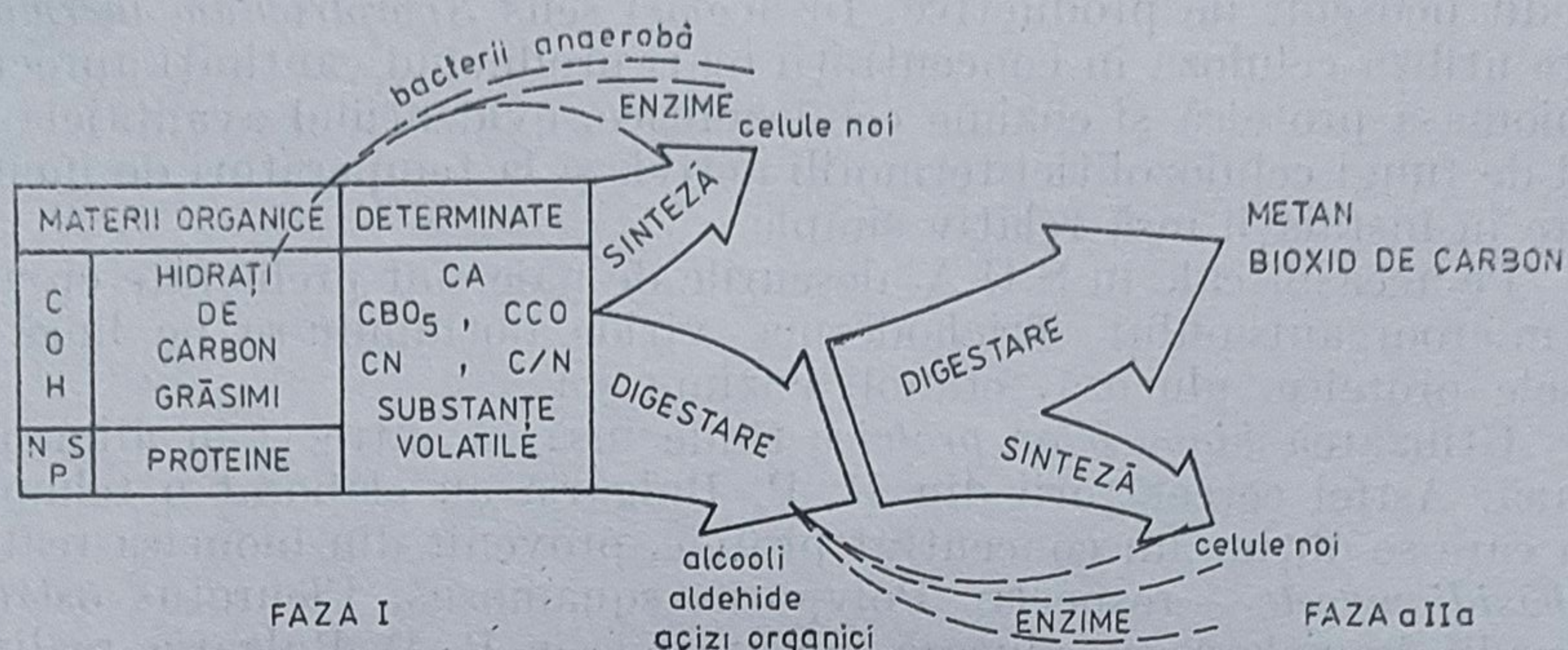


Fig. 3. — Schema descompunerii anaerobe a materiilor organice.

surse de energie secundare pe care biosfera ni le pune la dispoziție „biomasele și biogazul”. Așa cum rezultă din schema indicată, descompunerea principalelor componente ale materiei organice moarte, se realizează în două faze, pe etape după schema din figura 4.

În toate aceste procese, specifice în desfășurarea lor, cu intervenția unor microorganisme specifice, în condiții de anaerobioză se obține însă în final mereu biogaz, având componente  $\text{CO}_2$  și  $\text{CH}_4$  în proporții ce sînt funcție de faza proceselor, de modul desfășurării lor și de intervenția microorganismelor specifice metanogene sau nemetanogene. Favorizarea unei conversii selective, înspre creșterea ponderii activității microorganismelor anaerobe metanogene este una din preocupările de seamă ale bioingineriei contemporane și constituie obiectul unei activități susținute în ICA, în ultimii ani.

Cercetările extinse, realizate în acest sens au evidențiat factorii care intervin în aceste procese și au reușit să creeze o tehnologie specifică valorificării prin biogaz a unor resurse — deșeu, cu o mare pondere poluantă a mediului, ca dejecțiile animaliere. Se valorifică astfel, pe calea tehnologiei industriale unul din procesele de bază ale naturii, favorizîndu-l în mod dirijat, punînd microorganismele *la lucru în mod organizat* și recuperînd o parte din energia solară înmagazinată, ca sursă secundară de energie pentru nevoile omului.

Factorii care condiționează viteza de descompunere a materiilor organice în condiții anaerobe cu conversia în biogaz cu conținut predominant  $\text{CH}_4$  sînt multiple dar, potrivit cercetărilor ICA, realizate pe diverse substraturi organice, inclusiv nămol cu conținut de dejecții de la complexe porcine, aceștia sînt în principal: timpul de retenție, temperatura, conținutul în C și N al substratului, contactul microorganism anaerob/substrat, sistemul de alimentare și evacuare.

După experiențele realizate de ICA utilizarea unui inocul de culturi îmbogățite în bacterii metanogene mărește producția de biogaz pe g de carbon și scurtează semnificativ timpul de amorsare a procesului (fig. 5).



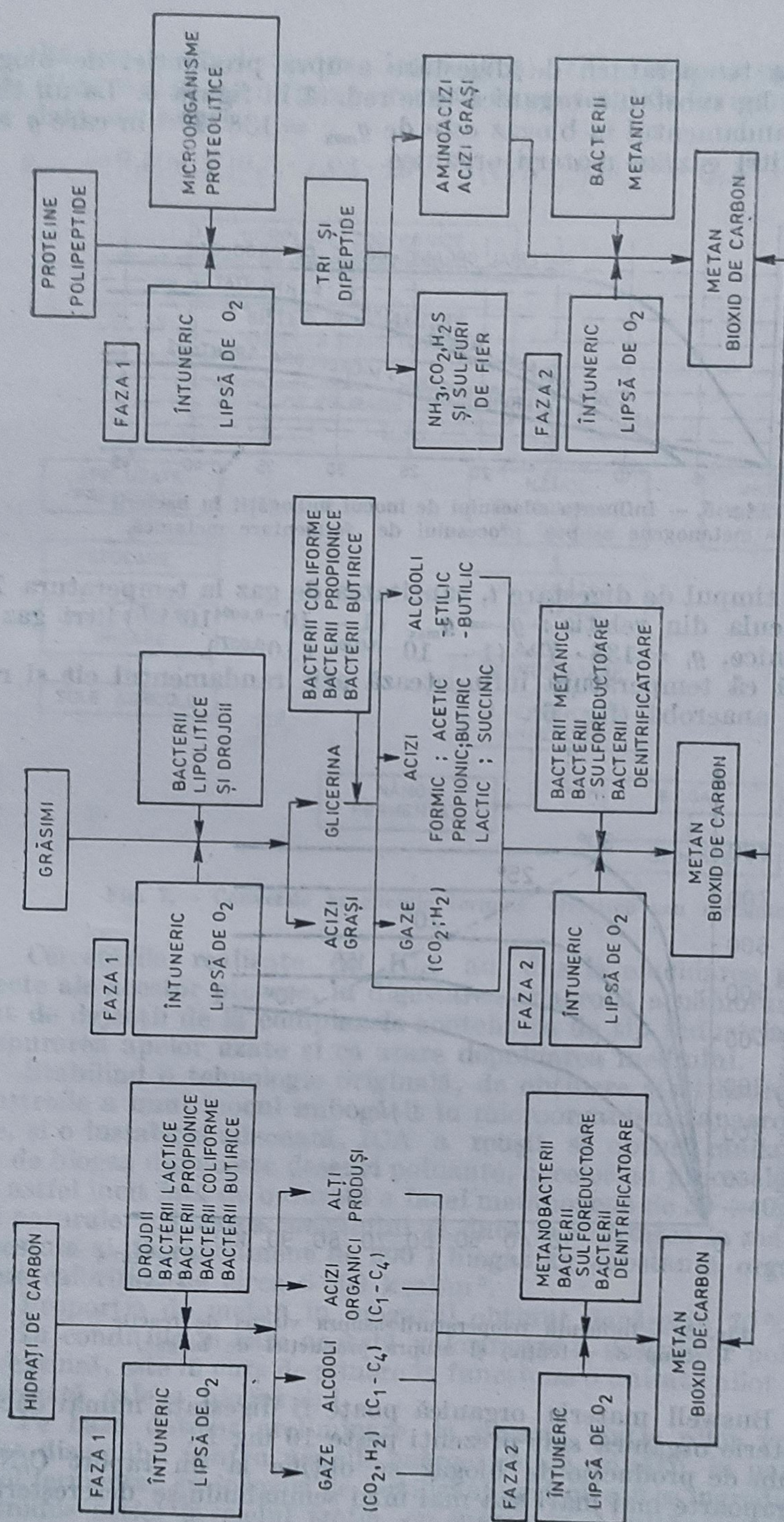


Fig. 4. — Schema descompunerii principalelor componente ale materiei organice.



Influența temperaturii de digestare asupra producției de biogaz, raportată la 1 kg substanță organică este redată în figura 6. La un timp foarte lung, randamentul în biogaz este de  $g_{\max} = 138 T^{0.5}$  în care  $g$  este exprimat în litri gaz/kg materii organice.

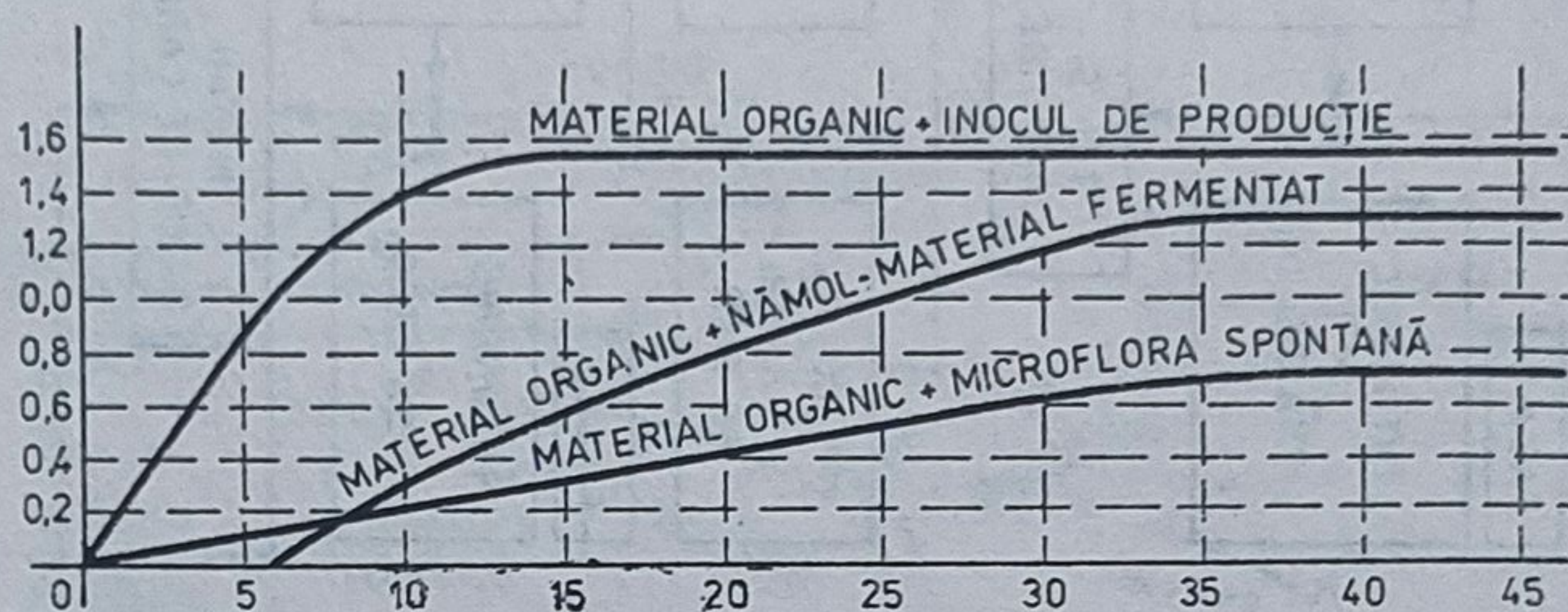


Fig. 5. — Influența adaosului de inocul îmbogățit în bacterii metanogene asupra procesului de fermentare metanică.

Pentru timpul de digestare  $t$ , cantitatea de gaz la temperatura  $T^{\circ}\text{C}$  se poate calcula din relația:  $g_t = g_{\max} (1 - 10^{-0.0094 t 10^{0.03T}})$  litri gaz/kg materii organice,  $g_t = 138 \cdot T^{0.5} (1 - 10^{-0.0094 t 10^{0.03T}})$ .

Rezultă că temperatura influențează atât randamentul cât și rata de digestare anaerobă (fig. 6).

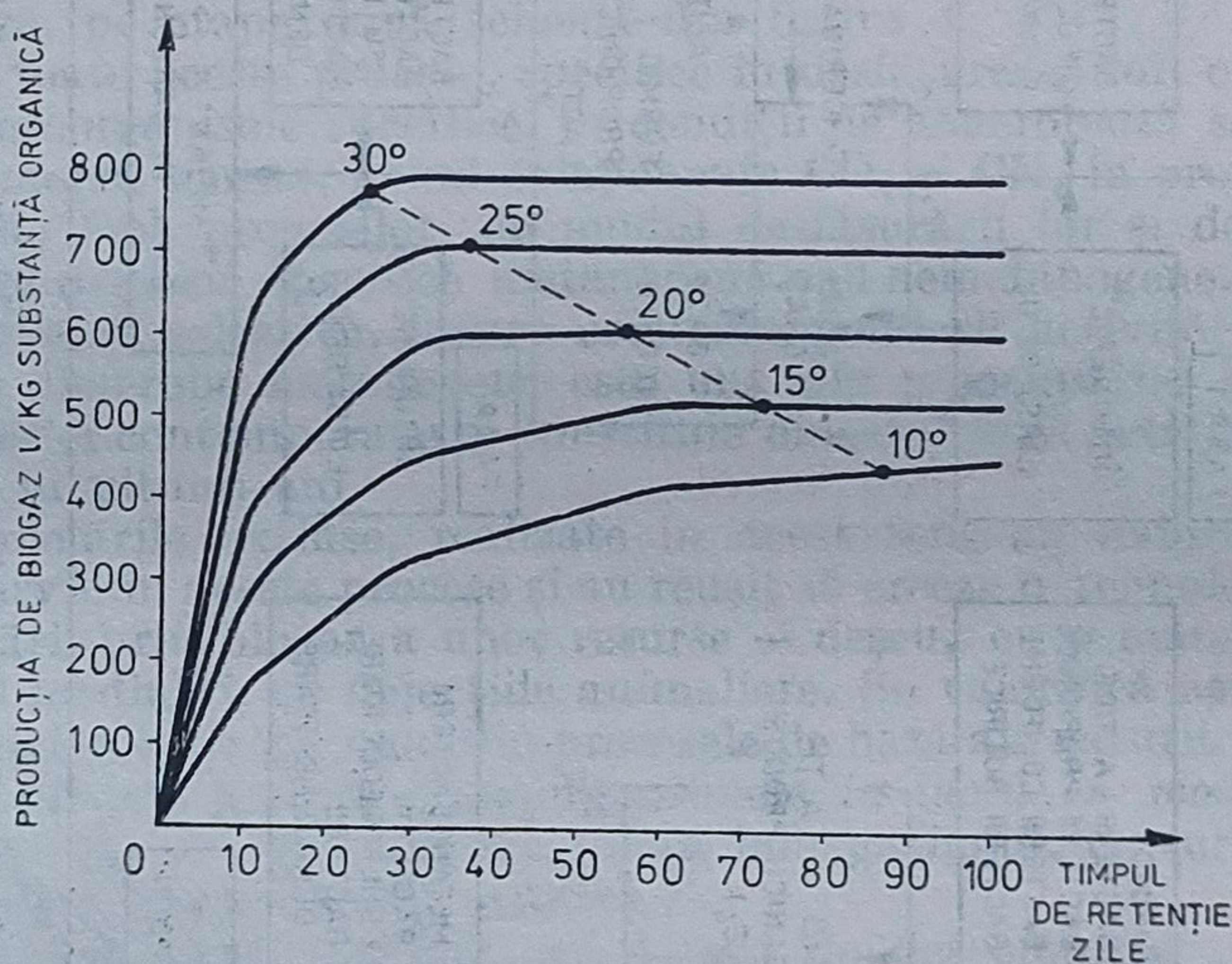


Fig. 6. — Influența temperaturii asupra vitezei de reacție (timp de retenție) și asupra producției de biogaz.

După Buswell materia organică poate fi digestată numai dacă la 100 mg materie organică sînt prezenți peste 16 mg N.

Maxim de producție de biogaz se obține la un raport C/N de 13 ÷ 14, la rapoarte mai mari sau mai mici semnalîndu-se descreșteri ale producției de biogaz.



La temperaturi cuprinse între 10 și 37°C și în zona optimă a raportului  $C/N$ , cantitatea de gaz ce rezultă în procesul de fermentare anaerobă este dată de relația

$$g_{\max} = 0,506 T (0,5 \cdot 1,08 \cdot 10^{0,0469} (C/N)^{-1} / 10^{0,608} \cdot C/N) \text{ 1 gaz/g C.}$$

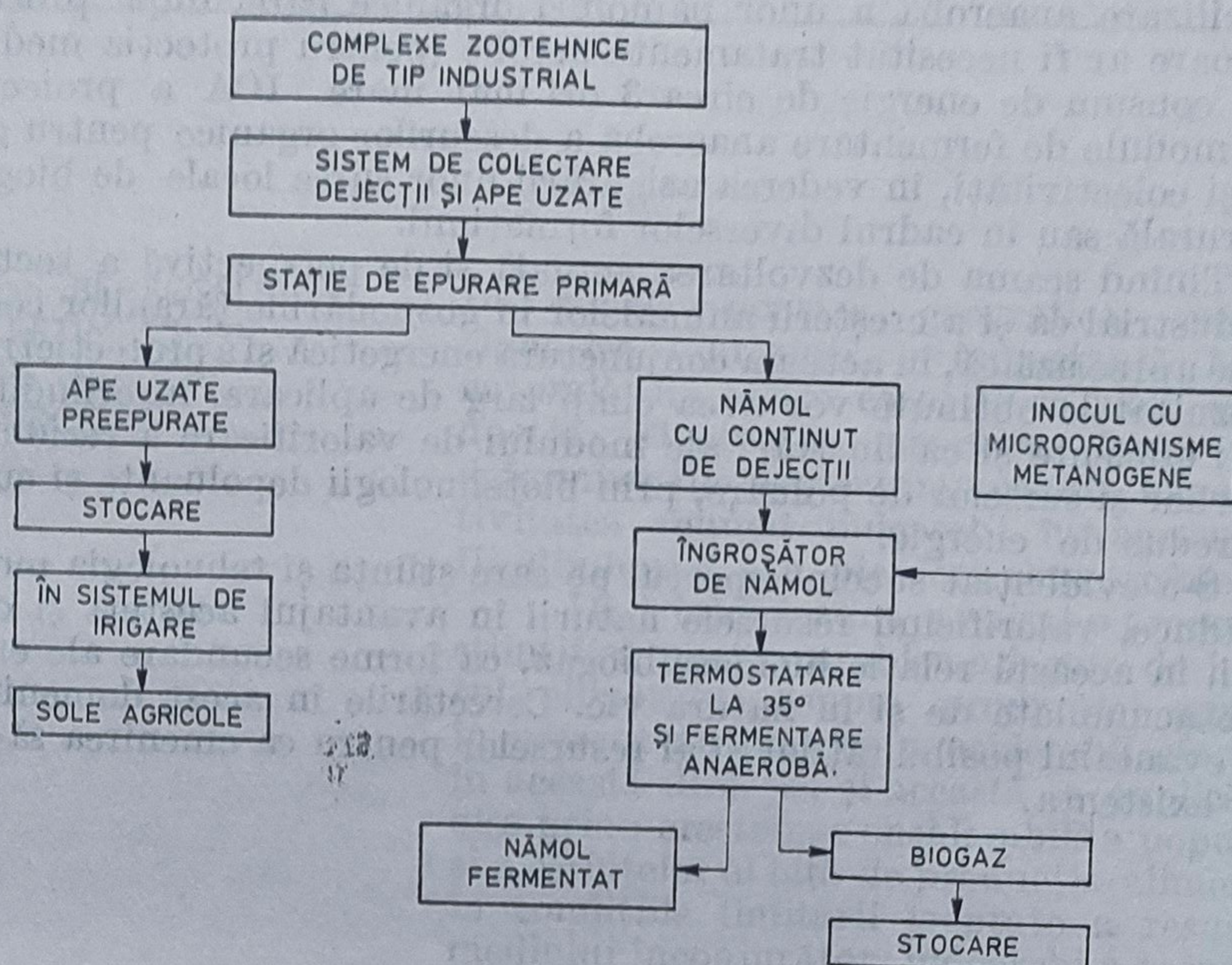


Fig. 7. — Conversie în energie termică, electrică sau mecanică.

Cercetările realizate de ICA au dus la elucidarea principalelor aspecte ale acestor procese, în digestarea anaerobă a nămolurilor cu conținut de dejeții de la complexe zootehnice de tip industrial, în paralel cu epurarea apelor uzate și ca atare depoluarea mediului.

Stabilind o tehnologie originală, de obținere și utilizare în condiții industriale a unui inocul îmbogățit în microorganisme anaerobe metanogene, și o instalație adecuată, ICA a reușit să obțină randamente ridicate de biogaz din aceste deșeuri poluante, accelerând procesele celor două faze astfel încât față de o durată a fazei metanogene de 30 ÷ 40 zile în condiții naturale, utilizarea inoculului să ducă la scurtarea la maxim 10 zile a acestuia și un randament de 600 l biogaz/kg substanță organică, cu o putere calorică de circa 6 500 kcal/m<sup>3</sup>.

Proporția de metan în biogazul obținut depășește 70%.

În condițiile în care această valorificare a deșeurilor poluante, trebuie extinsă, este în curs de punere în funcțiune o unitate pilot de obținere pe această cale a biogazului.

Pe baza datelor preliminare, la această stație pilot vor rezulta: biogaz disponibil pentru nevoile energetice ale unității, în paralel cu un nămol fermentat cu însușiri de fertilizant agricol, sau ca ingredient furajer, reintrodus astfel în ciclul trofic, cu energia sa chimică acumulată (fig. 7).







## CONSIDERAȚII ASUPRA RESURSELOR ENERGETICE ALE CLIMATULUI PENTRU PRODUCȚIA AGRICOLĂ

Octavian BERBECEL\*),  
Maria EFTIMESCU\*),  
Cornelia MIHOC\*),  
Elena SOCOR\*)

În zonele noastre geografice, resursele climatice reprezintă o importantă bogăție naturală, un factor esențial de viață și producție. Fluctuația acestora însă, poate determina fie creșteri importante în productivitatea muncii îndeosebi în agricultură, fie diminuări sau pierderi catastrofale.

Deși întotdeauna a existat o preocupare științifică pentru probleme legate de impactul climatului asupra producției agricole, în prezent au crescut considerabil eforturile în această direcție, și această se explică mai ales prin : creșterea considerabilă a populației și a cerințelor ei față de producția alimentară în condițiile limitării treptate a resurselor mediului înconjurător, îndeosebi a resurselor energetice tradiționale; influența covârșitoare pe care însăși activitatea umană o exercită asupra modificărilor climatice; modernizarea mijloacelor de investigare a climatului la scară planetară și locală prin sateliți meteorologici și tehnologii superioare de colectare, transmitere în flux rapid, stocarea și interpretarea datelor.

Pe de altă parte, studiile asupra evoluției retroactive ale climatului la noi în țară și în alte zone similare de pe glob, pun în evidență anumite caracteristici în fluctuația acestuia, pe zone agricole care trebuie avute în vedere în interpretarea rezultatelor experimentale și mai ales în lucrările de planificare pe termen lung.

În aceste circumstanțe, o sursă importantă de creștere a randamentului în agricultură constă în folosirea cu maximă eficiență a resurselor climatice în producția vegetală și animală prin raionarea riguroasă a raselor, soiurilor, hibrizilor și adaptarea tehnologiei la parametrii ecologici ai zonelor.

Some considerations concerning to  
the energetic researches of climate  
for agricultural production

This study refers to the territorial  
distribution and multiannual fluctuation of the main climatological parameters with their impacts on agricultural production. The relationship between climatological factors and crops are also studied. The data resulted permit an efficient use of the climatic resources in agriculture, by adaptation of technologies and crop distribution according to agroclimatic potential of each zone.

\*) Institutul de meteorologie  
și hidrologie.



Ne propunem să prezentăm caracteristicile esențiale ale resurselor climatice, ca factor de producție în agricultură, zonalitatea acestora pe teritoriul R. S. România, fluctuația lor la scara deceniilor în comparația acestora cu cele specifice marilor zone agricole din emisfera nordică, care interesează țara noastră.

## 1. Zone agricole cu resurse climatice similare

a) *În emisfera nordică.* Prin poziția geografică, particularitățile de circulație ale atmosferei, ca și prin resursele de energie radiantă și termică, țara noastră se înscrie în ansamblu, în Centura climatică din zona temperată a emisferei nordice cu diferite grade de continentalism, în interiorul căreia s-au conturat cele mai productive regiuni agricole. Aceasta cuprinde mari areale din America de nord și Europa, avînd extindere în Asia, îndeosebi în Orientul Îndepărtat [28].

Energia radiantă specifică acestor zone este cuprinsă între  $100 \div 140 \text{ kcal/cm}^2$  anual (ceea ce echivalează cu  $1 \div 1,4$  gigacalorii pe  $\text{m}^2$ ), iar energia termică oscilează frecvent între  $1\,000 \div 1\,800^\circ\text{C}$ , temperaturi efective ( $\Sigma T_{\text{ef}} > 10^\circ$ ).

Dacă la aceasta mai adăugăm faptul că izoterma lunii iulie oscilează între  $18 \div 25^\circ\text{C}$ , apare evidentă comparabilitatea acestor resurse cu cele ale zonelor agricole de bază din R. S. România. Resursele menționate favorizează obținerea producției ridicate atît la culturile cerealiere și oleaginoase, cît și la vița de vie și pomi fructiferi specifici zonelor temperate. Mai mult de 80 % din producția cerealieră mondială se realizează în aceste zone, care reprezintă mai puțin de 5 % din suprafața uscatului [15].

Randamentele deosebit de mari realizate în agricultură pe areale întinse din cuprinsul acestei centuri climatice, arată în mod indirect rezerve importante de creștere a producției agricole în zonele de bază din R. S. România și mai ales pe terenurile de șes și slab ondulate din sudul și vestul țării, unde resursele energetice sînt mai ridicate decît în restul teritoriului.

b) *În cadrul continentului European.* În cadrul continentului European zonele agricole de bază din R. S. România, care sînt caracterizate printr-un quantum de temperaturi efective anuale cuprinse între  $1\,400 - 1\,800^\circ\text{C}$  și izoterma lunii iulie între  $20 \div 24^\circ\text{C}$ , își găsesc corespondență în bazinul mijlociu și inferior al Dunării, în nordul Italiei, zonele sudice ale Franței și nordul Spaniei.

În cuprinsul acestor zone, diferențierile mari de productivitate sînt determinate de compartimentările orografice la scară locală și variabilitatea resurselor de apă. În cadrul acestora însă îmbinarea optimă între resursele termice și cele hidrice se realizează doar în partea de vest și anume în sud-vestul Franței, în timp ce spre sud și îndeosebi în estul acestora, la resursele termice egale, resursele de umiditate scad treptat, fenomenele de secetă crescînd în intensitate, frecvență și durată, indicele



de umiditate pentru vară avînd valori subunitare în est ( $0,5-1$ )\*) și între 1 și  $1,5$ \*\*) în vest [27].

Zonele cu resurse termice moderate din R. S. România așa cum sînt cele din nord-estul Moldovei și sud-vestul Transilvaniei, își găsesc asemănare pe mari areale în Europa Centrală și Estică pînă la latitudini nordice de  $50 \div 55^\circ\text{C}$ . O anumită limitare a producției agricole la culturile cu cerințe foarte ridicate față de temperatură ca de exemplu, hibrizii tardivi de porumb și floarea soarelui, este determinată de potențialul radiativ și termic în genere mai redus comparativ cu primele zone.

Existența unui echilibru hidrotermic în zonele menționate favorizează obținerea de producții ridicate la culturi cu cerințe moderate față de cultură.

Delimitarea riguroasă a arealelor analoage sub aspectul resurselor termice însoțite de precizări privind resursele de umiditate este deosebit de necesară în toate acțiunile de colaborare în domeniul agriculturii (schimb de semințe, material săditor, tehnologii).

## 2. Energia radiantă și termică

Poziția geografică a țării noastre, complexitatea și fragmentarea puternică a formelor de relief ca și particularitățile circulației atmosferice, reprezintă factori ce determină potențialul resurselor climatice ale țării și diferențierea lor pe teritoriu.

În țara noastră energia radiantă, durata de strălucire a soarelui, regimul nefic și în ultimă instanță energia termică, sînt specifice latitudinilor medii.

Teritoriul R. S. România fiind situat între  $43^\circ 37' 07''$  și  $48^\circ 15' 06''$  latitudine nordică, unghiul de incidență a razelor solare este mai mic în extremitatea nordică a țării cu  $4^\circ$  și  $38'$ , ceea ce determină o reducere sistematică a intensității radiației solare a orelor de insolație și a temperaturii de la sud spre nord. Zonalitatea riguroasă a acestora este determinată totodată de aspectele orografice și de circulația atmosferică [27].

Un rol important în repartiția resurselor energetice pe suprafața reliefului accidentat, îl au orientarea și înclinarea pantelor, deoarece în funcție de aceasta variază unghiul de incidență a razelor solare și deci cantitatea de căldură. Astfel, pantele sudice cu o înclinare de  $30^\circ$  primesc  $146\%$  pe cînd cele nordice numai  $27\%$  din cantitatea de energie termică care revine suprafeței orizontale. Așa se explică surplusul de energie termică față de zonele vecine specific pantelor sudice din zona subcarapaților meridionali din văile largi ale apelor (de exemplu Valea Oltului, Valea Tîrnavelor etc.).

Resursele energetice ale climatului pe teritoriul țării noastre sînt puternic influențate de relief și poziția geografică.

Astfel energia radiantă scade treptat în raport cu latitudinea și relieful de la valori de  $135 \text{ kcal/cm}^2$ , anual pe litoral la  $125 \div 130 \text{ kcal/cm}^2$  în Cîmpia Dunării și Dobrogea, ajungînd pînă la limite de  $110 \div 112 \text{ kcal/}$

\*) Corespunzător climatului secetos.

\*\*) Corespunzător climatului moderat de umed.



cm<sup>2</sup> în zonele deluroase din nordul țării. Pe fondul zonalizării menționate, apar situații locale deosebite determinate de relief. Astfel, la partea inferioară a plantelor adăpostite de vînt, ca efect al însenărilor produse de procesele föhnale, sumele radiațiilor totale cresc apreciabil. Asemenea efecte sînt mai frecvent localizate în părțile estice ale Carpaților Orientali și ale munților Apuseni și cele sud-estice ale Carpaților de Cubură și în părțile sudice ale Carpaților Meridionali [2, 28].

În condițiile respective pe pantele cu expoziție sudică mai ales, se realizează un surplus de căldură față de terenurile înconjurătoare care favorizează culturile cu exigențe mari față de căldură (exemplu vița de vie).

Zonalitatea resurselor energetice reprezintă un factor esențial alături de cele hidrice pentru amplasarea și exploatarea sistemelor de irigații. Este suficient de menționat că numai în procesul de evapotranspirație se consumă 30 ÷ 35 kcal/m<sup>2</sup> în sezonul de vegetație. Folosirea apei fără a ține seama de bilanțul energetic al lanurilor în zone cu resurse energetice limitate, poate determina reducerea considerabilă a căldurii necesare proceselor biologice și desăvîrșirea fazelor de coacere (întîrziere în vegetație).

Totalul orelor de strălucire a soarelui într-un an (indice esențial pentru construcția de sere și solarii) prezintă o zonalitate apropiată, însă diferențierile sînt mai pregnante. Astfel de la valoarea de 2 200 ÷ 2 400 în cîmpiile din sudul țării, Dobrogea și Cîmpia de Vest, durata de strălucire a soarelui scade treptat pînă la limite de 1 800 ÷ 1 900 în nordul țării. În amplasarea serelor trebuie să se țină seama de faptul că intensitatea luminii pătrunsă în interior este în medie cu 40 ÷ 50 % mai mică față de exterior [14—18]. În anumite perioade ale anului ca de exemplu în luna decembrie înnoirările și cețurile frecvente determină în unele zone o luminozitate sub limita critică pentru culturile din seră (3 ÷ 5 000 lux).

Sub aspectul nebulozității distingem două mari grupe de zone : o primă zonă cuprinde zonele centrale și nordice caracterizate printr-o înnoirare mai accentuată, timpul noros reprezentînd mai mult de 55 % din total ; o a doua grupă de nebulozitate mai redusă (de regulă sub 50 %) cuprinde regiunile din sud-vestul Transilvaniei, Cîmpia de Vest și majoritatea zonelor din sudul țării.

Expresia cea mai elocventă a energiei din atmosferă în sensul în care interesează agricultura o reprezintă starea termică a acesteia, rezultată atît din intensitatea radiației în zonă, cît și din aportul sau pierderea de căldură prin advecție. Așa se explică de ce între temperaturile efective — unitățile de căldură — și ritmul proceselor biologice, există o corelație mai evidentă decît între acestea din urmă și bilanțul radiativ [8].

Figura 1 redă zonalitatea temperaturilor efective însumate pentru perioada caldă a anului corespunzătoare pragului biologic de 10°C.

Potențialul termic cel mai ridicat (1 700 ÷ 1 800°C) se întîlnește în Cîmpia Olteniei și Burnas, urmat de celelalte zone din Cîmpia Română, Cîmpia Banatului și Dobrogea (1 400 ÷ 1 700°C). Resursele termice cele mai scăzute sînt caracteristice zonelor din sud-estul Transilvaniei și nord-vestul Moldovei.



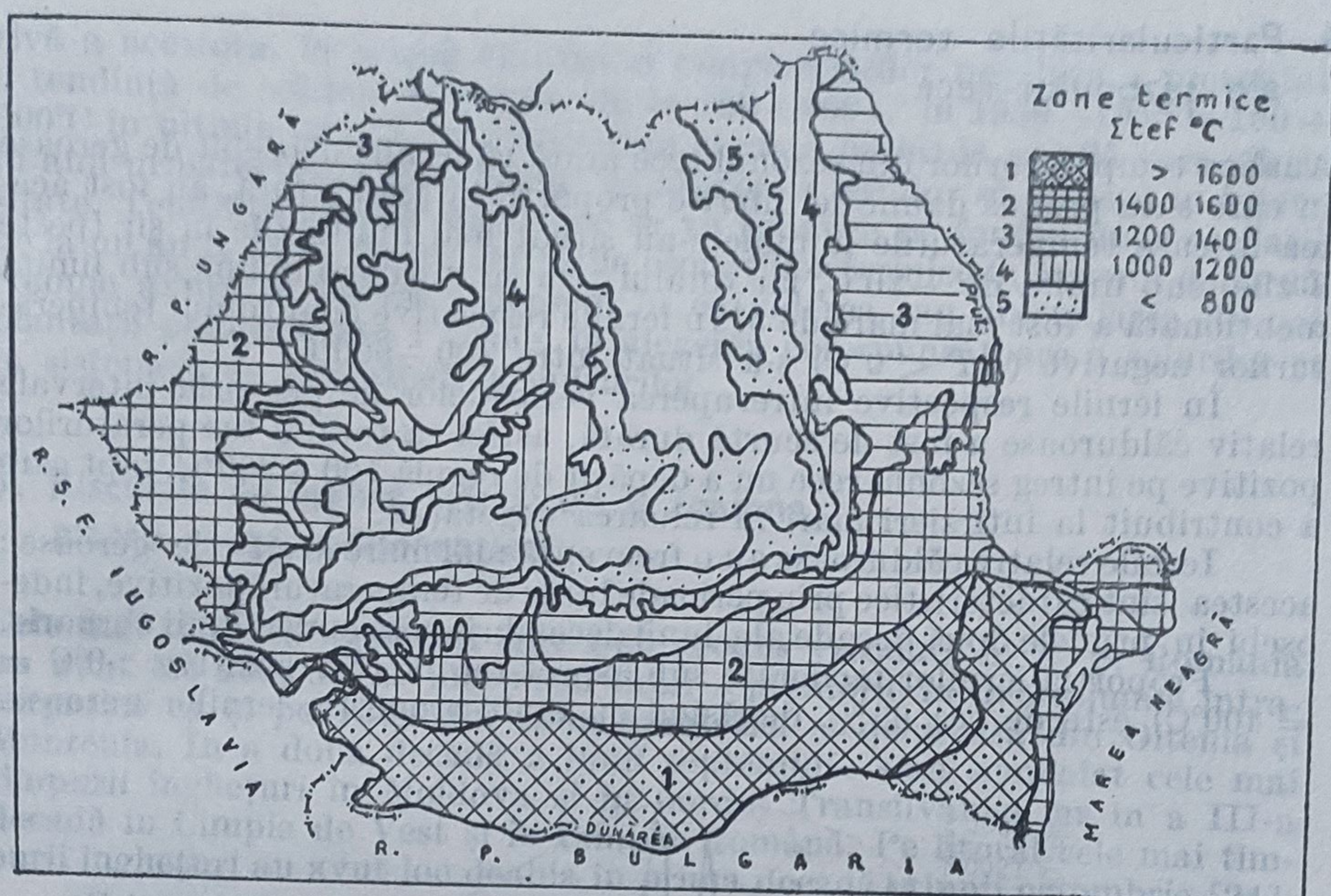


Fig. 1. — Sume de temperaturi efective  $> 10^{\circ}\text{C}$  (medii plurianuale).

### 3. Aspecte comparative între potențialul termic al zonelor agricole și raionarea soiurilor și hibrizilor.

#### Concluzii practice

Zonalitatea resurselor termice reprezintă un element de bază pentru o repartitie rațională a culturilor cu diferite grade de precocitate, îndeosebi a celor cu cerințe biologice ridicate față de temperatură. Pentru asigurarea unei concordanțe depline între raionarea soiurilor și hibrizilor pe de o parte și potențialul energetic al climatului care să ducă la creșterea randamentului productiv pe de altă parte, este necesară în primul rând înlocuirea numărului de zile folosit în prezent ca indice de precocitate, cu unități de căldură, precizarea grupelor cu cerințe comune sau apropiate față de valorile termice și amplasarea fiecărei grupe în raport cu aceste cerințe.

Același lucru se impune și pentru culturile duble care valorifică resursele termice specifice celei de a doua jumătăți a sezonului de vegetație. Alegerea soiurilor ca și fixarea epocilor de însămînțare trebuie făcută în strictă concordanță atât cu potențialul termic rămas până la sfârșitul sezonului, cât și cu resursele de apă (pe cale naturală sau artificială), pentru a evita risipa de forță de muncă, combustibil și sămînță. Datele rezultate până în prezent din experiențele agricole și cercetările agroclimatice permit îmbunătățirea substanțială a raionării hibrizilor, atât la culturile de câmp cât și la pomii fructiferi și vița de vie [29].



#### 4. Particularitățile termice ale sezonului rece

Analiza temperaturilor din sezonul rece arată că iernile deosebit de geroase în care s-au produs daune de diferite proporții în agricultură, au fost acelea în care temperaturile minime s-au situat mai multe zile în șir (peste 3 zile) sub limita de  $-20^{\circ}\text{C}$ , iar totalul temperaturilor minime sub limita menționată a fost mai mare de 5. În iernile respective cuantumul temperaturilor negative ( $\Sigma T < 0^{\circ}\text{C}$ ) s-a situat între  $400 \div 600^{\circ}\text{C}$ .

În iernile respective întreruperea perioadelor de ger prin intervale relativ călduroase a fost de scurtă durată, astfel că totalul temperaturilor pozitive pe întreg sezonul rece nu a depășit de regulă  $100 \div 200^{\circ}\text{C}$ , fapt care a contribuit la întârzieri mari în reluarea vegetației.

Iernile relativ călduroase au o frecvență mai mare decât cele geroase: acestea sînt caracteristice prin perioade lungi de temperaturi pozitive, îndeosebi în primele două decade ale lunii decembrie și în cursul lunii ebruarie.

Proporția iernilor moderate sub aspect termic ( $\Sigma T$  pozitive  $> 0^{\circ}\text{C} = 400^{\circ}\text{C}$ ) este de cca 63%, depășind cu mult proporția iernilor geroase.

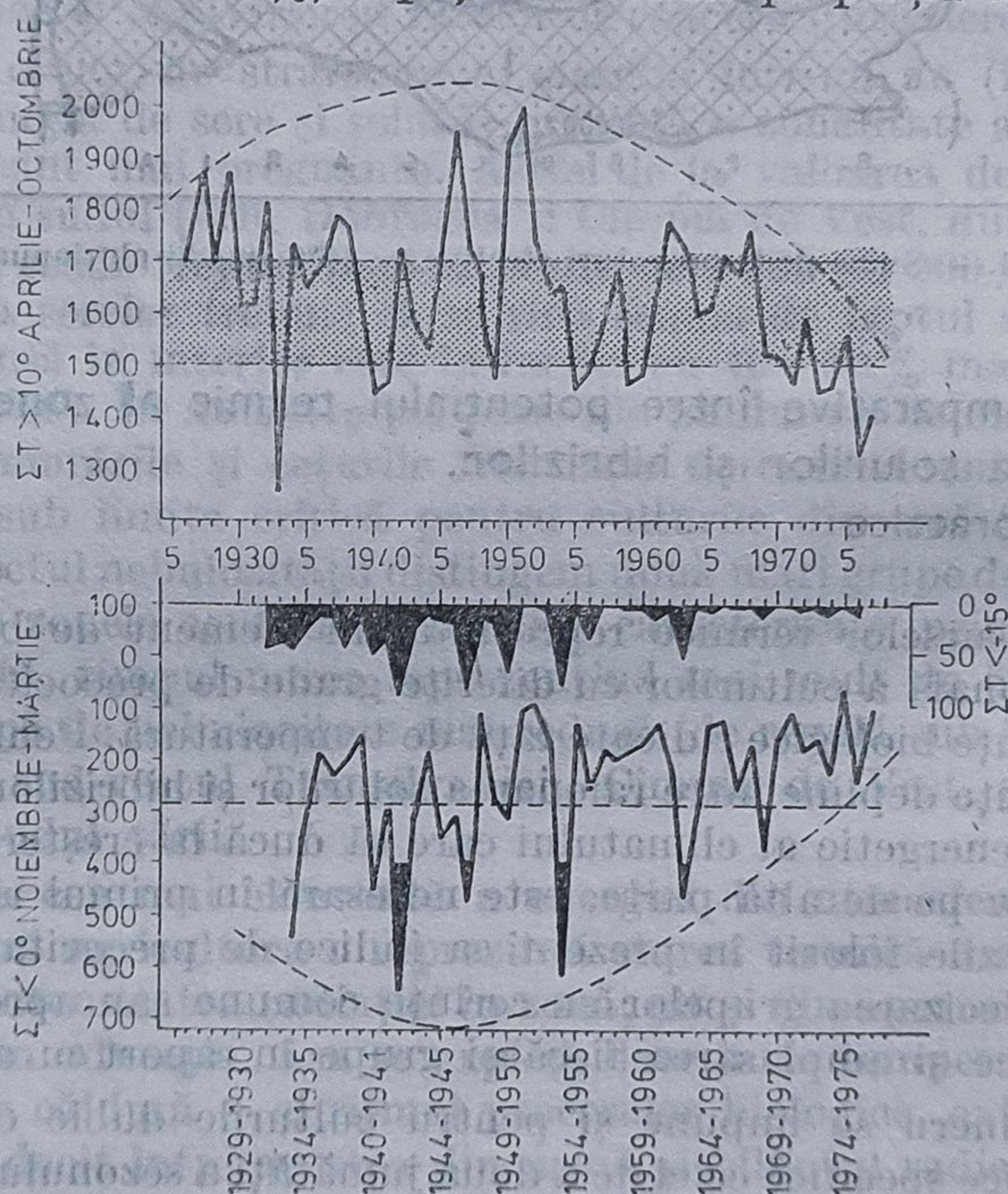


Fig. 2. — Fluctuația multianuală a temperaturilor din sezonul cald și rece — București.

Cele mai călduroase ierni din ultimele 5 decenii au fost caracterizate printr-un total de temperaturi pozitive de  $600^{\circ}\text{C}$ , înghețuri superficiale sau absente în sol și reluarea timpurie a vegetației.

Din figura 2 care dă asprimea iernilor prin indicii menționați rezultă evident că în ultimele două decenii s-a produs o perioadă de încălzire rela-



tivă a acestora, în sensul că totalul temperaturilor negative a prezentat o tendință de scădere și anume de la  $500 \div 600 \text{ C}^\circ$  în 1950—1955 la  $100 \div 300 \text{ C}^\circ$  în ultimii ani [3, 29]. Deoarece această perioadă se află spre sfârșit în anii următori este de așteptat că asprimea iernilor să crească în intensitate. Tendința acestor fenomene se va produce pe fondul unor oscilații de la un an la altul. Particularitățile oscilațiilor termice în sezonul de iarnă trebuie avute în vedere îndeosebi în extinderea sau amenajarea de noi plantații pomicole sau viticole, în alegerea corespunzătoare a soiurilor și în sistemele de întreținere a culturilor.

### 5. Riscurile de îngheț primăvara și toamna ; macro și microdiferențieri

Cele mai timpurii înghețuri care s-au produs vreodată în R. S. România au avut loc încă de la începutul lunii septembrie în depresiunile intra-carpătice ca și pe văile din zona muntoasă și deluroasă din Oltenia și Muntenia. În a doua decadă a lunii septembrie s-au semnalat cele mai timpurii înghețuri în Moldova și în nordul Transilvaniei iar în a III-a decadă în Cîmpia de Vest și în Cîmpia Română. Pe litoral cele mai timpurii înghețuri au avut loc deabia în prima decadă a lunii octombrie [24].

Cel mai târziu îngheț local care s-a produs vreodată de-a lungul anilor nu a depășit data de 1 mai pe litoralul Mării și în Lunca Dunării, 15 mai în sudul Cîmpiei Române, 20 mai în Bărgan și partea nordică a Cîmpiei Române și 25 mai în Moldova și Ardeal.

În regiunile deluroase pe văi și în depresiuni unde se stratifică și se acumulează aerul cel mai rece, înghețurile persistă mai târziu primăvara și încep devreme toamna astfel că durata medie a intervalului fără îngheț este mai mică decât pe pante. Temperatura minimă a aerului este sensibil mai coborâtă pe văi decât în pante. Aceasta apare evident în nopțile senine în perioada înghețurilor târzii de primăvară. Intensitatea înghețului scade sensibil pe pante la altitudine mai mare pînă la  $0^\circ\text{C}$ . Pe fundul celorlalte forme concave ale reliefului în zilele senine de vară, solul și aerul se încălzesc excesiv proces favorizat de slaba circulație a aerului în condițiile de adăpost. Rezultă deci că pe fundul formelor concave ale reliefului (văi, depresiuni, crovuri etc.), amplitudinea oscilațiilor diurne și anule ale temperaturii aerului și a suprafeței solului cresc apreciabil, însă resursele globale de temperaturi sînt mai mari pe văile largi ale apelor decât în zonele limitrofe (exemplu Valea Oltului, văile Tîrnavelor, Someșului etc.).

Un rol important în repartiția resurselor termice pe suprafața terenului accidentat îl are orientarea și înclinarea pantelor deoarece în funcție de aceasta variază unghiul de incidență al razelor solare și deci cantitatea de căldură. Pantele sudice cu o înclinare de  $30^\circ$  primesc aproape 150% pe cînd cele nordice sub 50% din cantitatea de energie termică ce revine suprafeței orizontale.

În figura 3 care reprezintă diagrama bloc a podgoriei Basarabi (Murfatlar) unde se constată că în luna septembrie pantele sudice primesc  $392 \text{ kcal/cm}^2$ , iar cele nordice doar  $172 \text{ kcal/cm}^2$  [2, 19)]. Așa se explică surplusul de energie termică pe pantele sudice din zona subcarpaților de pe







Cîmpia Dunării se ating valori similare celor din zonele subtropicale ( $2\,000 \div 2\,200^\circ\text{C}$  în 1946 și 1950).

Pentru zonele noastre geografice în anii respectivi se produc diminuări puternice în producția vegetală deoarece creșterea considerabilă a temperaturilor este determinată și de deficitul de umiditate din sol. În condițiile menționate cea mai mare parte din energia radiațiilor solare participă la încălzirea aerului, consumul energetic pentru evapotranspirație fiind minim.

În orele de amiază temperaturile depășesc frecvent  $32^\circ\text{C}$  fiind însoțite de deficite de umiditate în atmosferă (umiditatea relativă sub 30%). În alți ani (ca de exemplu 1976) temperaturile evoluează sensibil sub limitele normale. Așa de exemplu în 1976 deficitul termic la data de 31 august era de  $420^\circ\text{C}$ , întârzierea în vegetație la culturile tîrzii depășind 19 zile (fig. 4).

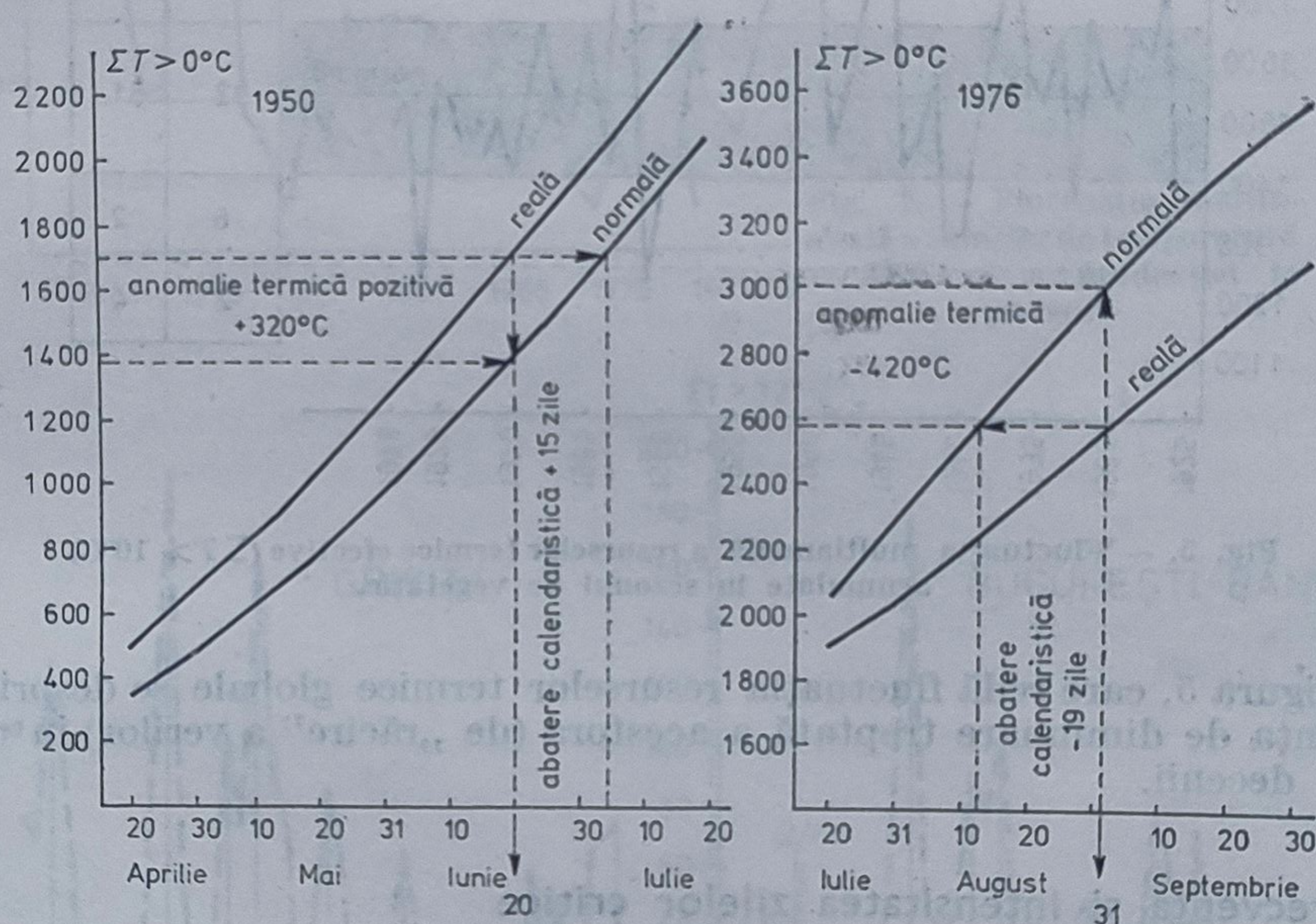


Fig. 4. — Evoluția sumelor aditionale ale temperaturilor  $> 0^\circ\text{C}$  — Grivița.

Deși maturizarea culturilor tîrzii se face în condiții nefavorabile, productivitatea acestora (de exemplu la porumb) este destul de ridicată deoarece scăderea temperaturilor din vară determină o reducere sensibilă a consumului de apă prin evaporație și implicit o atenuare a fenomenelor de secetă. Diferențele între potențialul termic al anilor reci și calzi exprimate în sume de temperaturi efective ating valori considerabile (600 pînă la  $800^\circ\text{C}$ ).

Pentru cultura porumbului de exemplu resursele termice globale într-un an oarecare, pot fi întrevăzute încă din cursul lunii august cînd în funcție de temperaturile acumulate pînă la această dată putem aprecia posibilitățile de maturare a lanurilor în diferite zone ale țării. În condițiile țării noastre momentul de prognozare a coacerii este stabilit pentru



decada a II-a a lunii august cînd în mod normal, majoritatea hibrizilor și-au încheiat perioada de creștere vegetativă. De la această dată și pînă la atingerea maturității depline, mai rămîne o perioadă de timp suficientă (20—30 de zile) pentru adaptarea tehnologiei de recoltare pe zone naturale, în funcție de posibilitățile întrevăzute de coacere [4, 5, 7].

Studiul frecvenței și intensității anomaliilor termice pe zone agricole reprezintă un nou criteriu de orientare pentru evaluarea potențialului agroproductiv al climatului și stabilirea tehnologiilor adecvate.

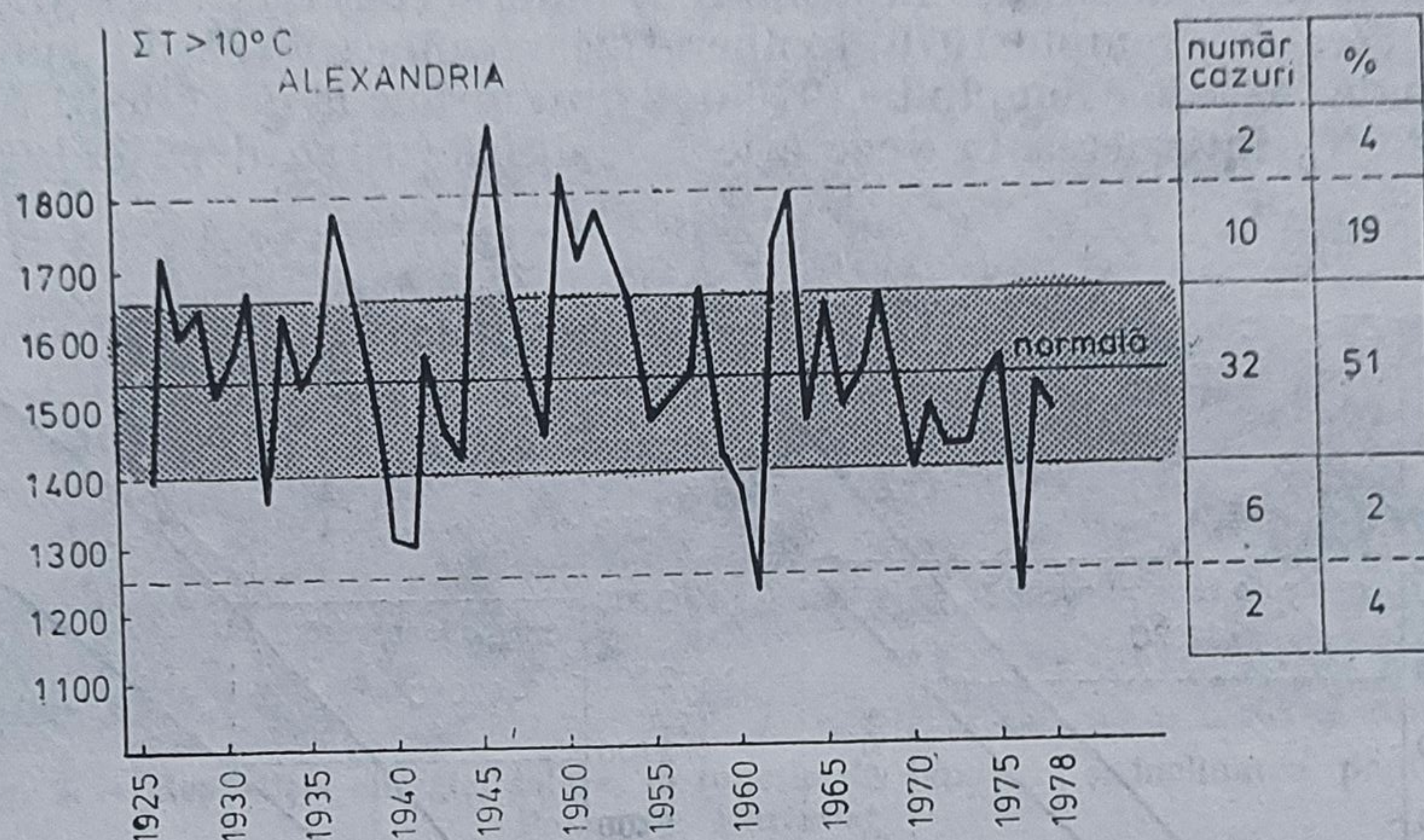


Fig. 5. — Fluctuația multianuală a resurselor termice efective ( $\Sigma T > 10^\circ\text{C}$ ) acumulate în sezonul de vegetație.

Din figura 5, care redă fluctuația resurselor termice globale se desprinde tendința de diminuare treptată a acestora (de „răcire” a verilor) în ultimele decenii.

### 7. Frecvența și intensitatea zilelor critice în sezonul de vegetație „zile de arșiță”

În concordanță cu scăderea treptată a cuantumului de temperaturi (unități de căldură), a evoluat frecvența și intensitatea zilelor critice cu temperaturi maxime  $> 32^\circ\text{C}$  și umiditatea relativă  $< 30\%$ . După perioada 1945—1954 caracterizată printr-o mare frecvență a zilelor critice, apare o diminuare a acestora cu o ușoară intensificare în 1961—1963 și scăderea apreciabilă după aceea. În 1968 o singură zi a fost caracterizată printr-o asemenea temperatură.

Tendința respectivă apare și mai evidentă în figura 6, care redă variația anuală a sumelor de temperatură  $> 32^\circ\text{C}$  în zonele sud-vestice ale țării. Cercetările au arătat totodată că în perioada anilor călduroși și deosebit de călduroși apare o relație evidentă între totalul zilelor critice pe de o parte și productivitatea culturilor pe de altă parte (fig. 7) [1, 2, 3].



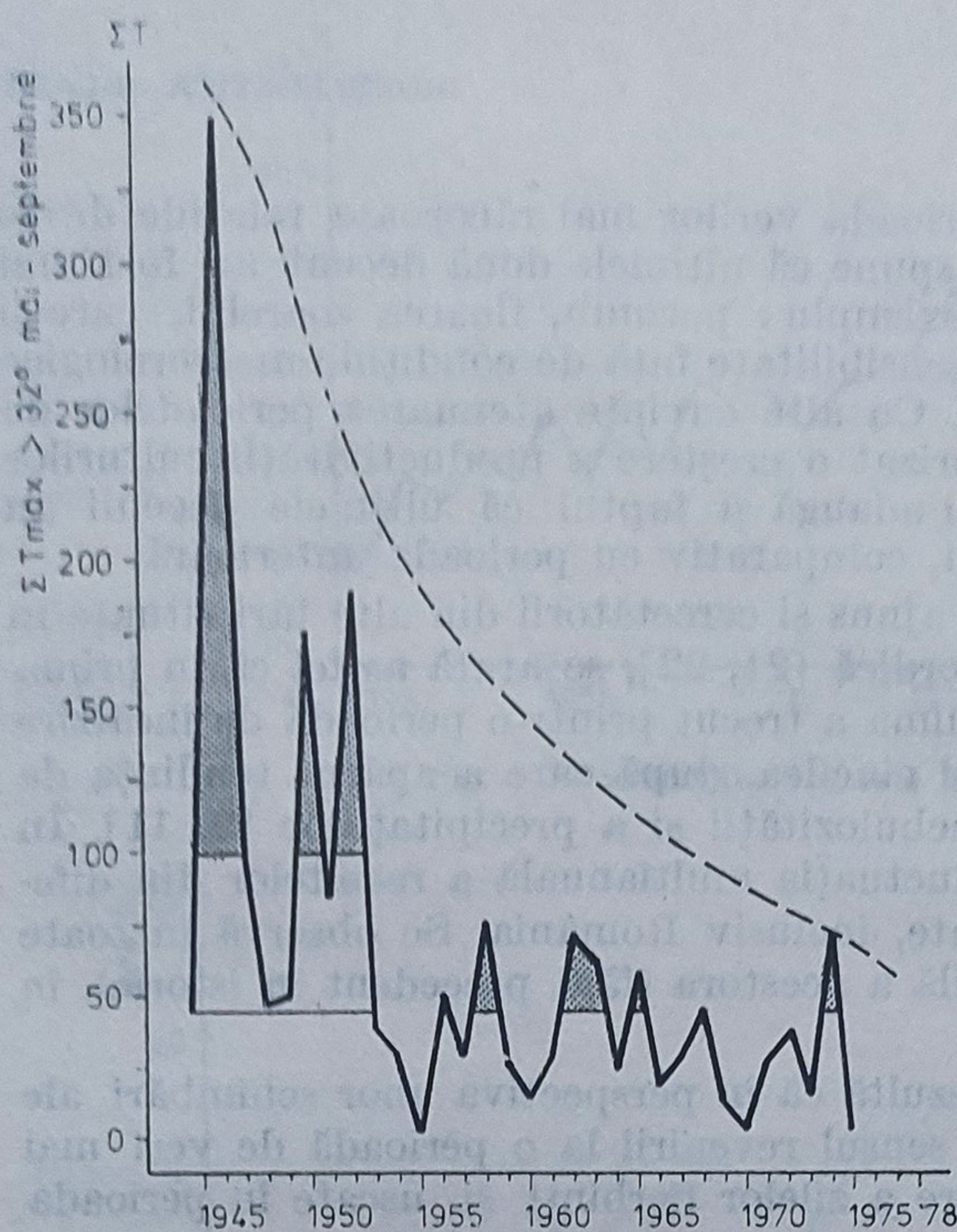
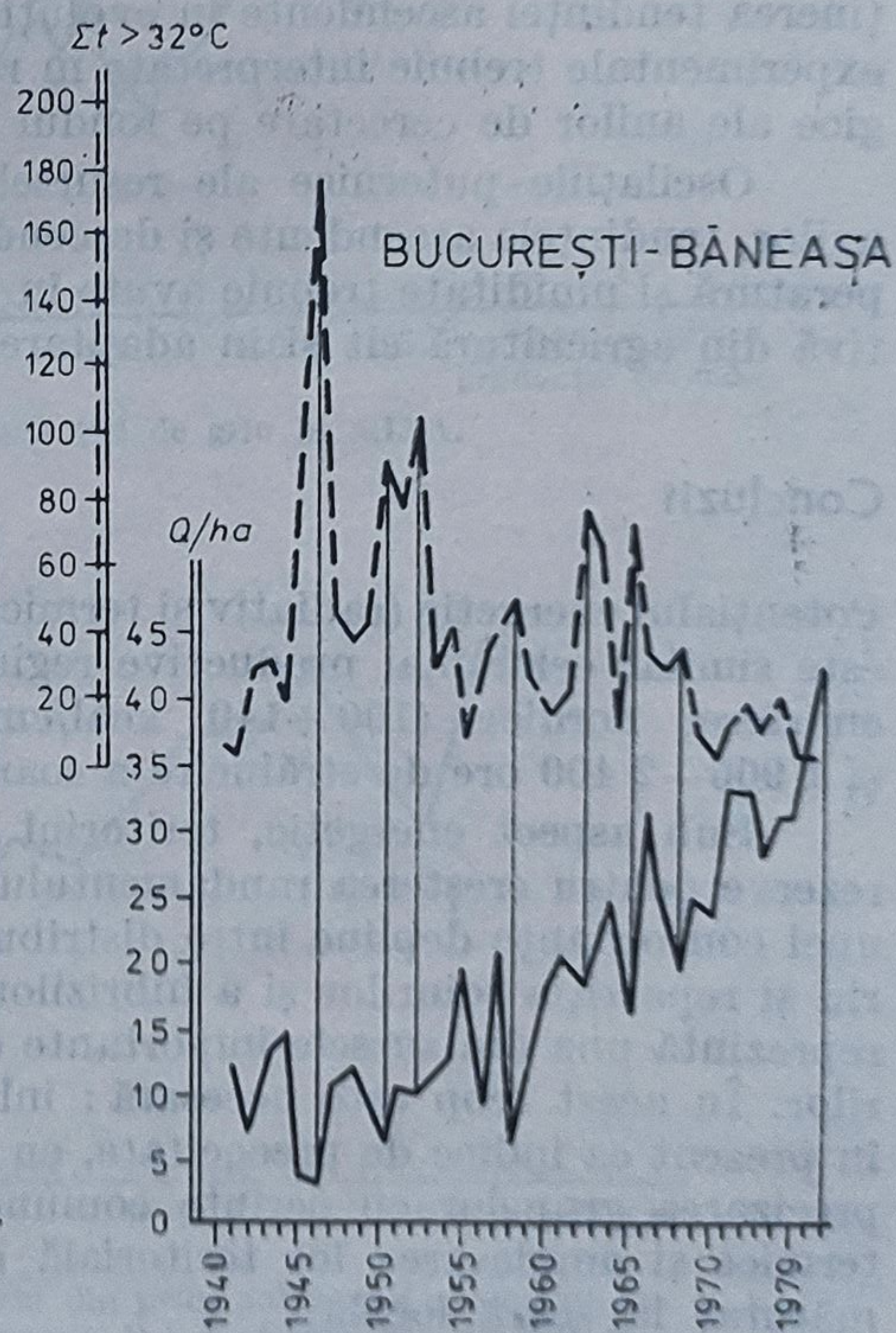
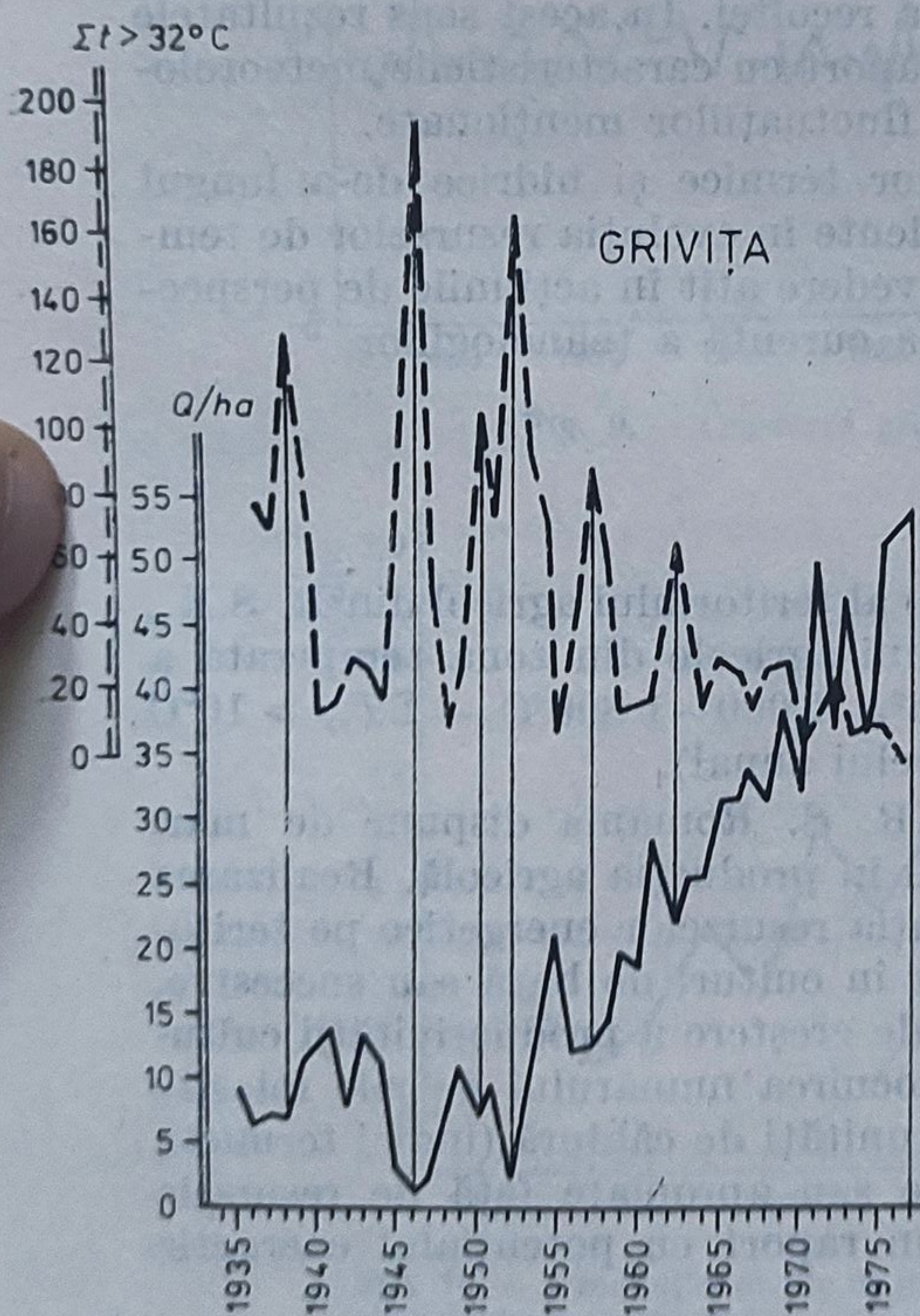


Fig. 6. — Variația anuală a sumelor de temperaturi maxime  $\geq 32^{\circ}\text{C}$  — Caracal.

Fig. 7. — Fluctuația multi-anuală a sumelor de temperatură  $> 32^{\circ}\text{C}$  și a producției la porumb





Odată cu trecerea la perioada verilor mai răcoroase relațiile devin mai puțin evidente. Se poate spune că ultimele două decenii au fost mai prielnice unor culturi ca de exemplu: porumb, floarea soarelui, care-și desfășoară fazele de maximă sensibilitate față de condițiile meteorologice în perioada arșițelor de vară. Cu alte cuvinte atenuarea perioadelor de stress din ultimii ani au favorizat o creștere a productivității culturilor menționate. La aceasta se mai adaugă și faptul că ultimele decenii au fost mai bogate în precipitații, comparativ cu perioada anterioară.

La concluzii similare au ajuns și cercetătorii din alte țări situate în marea centură din emisfera nordică [21, 22], se arată astfel că în prima jumătate a secolului actual, clima a trecut printr-o perioadă de încălzire care a culminat cu deceniul al cincilea, după care a apărut tendința de răcire, însoțită de creșterea nebulozității și a precipitațiilor [9, 11]. În figurile 8, 9, 10 se prezintă fluctuația multianuală a recoltelor din diferite regiuni ale zonei temperate, inclusiv România. Se observă în toate cazurile o creștere considerabilă a acestora (fără precedent în istorie), în ultimii 50 ani.

Din datele de mai sus rezultă că în perspectiva unor schimbări ale climatului pe mai departe în sensul revenirii la o perioadă de veri mai aride (cu o frecvență mai mare a zilelor fierbinți și uscate în perioada critică a culturilor), vor fi necesare eforturi deosebit de mari pentru menținerea tendinței ascendente în evoluția recoltei. În acest sens rezultatele experimentale trebuie interpretate în raport cu caracteristicile meteorologice ale anilor de cercetare pe fondul fluctuațiilor menționate.

Oscilațiile puternice ale resurselor termice și hidrice de-a lungul anilor, tendințele ascendente și descendente în evoluția resurselor de temperatură și umiditate trebuie avute în vedere atât în acțiunile de perspectivă din agricultură cât și în adaptarea curentă a tehnologiilor.

## Concluzii

Potențialul energetic (radiativ și termic) al teritoriului agricol din R. S.R., este similar celor mai productive regiuni agricole din zona temperată a emisferei nordice ( $100 \div 140 \text{ kcal/cm}^2$ ,  $1\,000 - 1\,800^\circ\text{C} - \Sigma T_{ef} > 10^\circ\text{C}$  și  $1\,900 - 2\,400$  ore de strălucire a soarelui anual).

Sub aspect energetic, teritoriul R. S. România dispune de mari rezerve pentru creșterea randamentului în producția agricolă. Realizarea unei concordanțe depline între distribuția resurselor energetice pe teritoriu și repartitia soiurilor și a hibridilor în culturi de bază sau succesive, reprezintă una din sursele importante de creștere a productivității culturilor. În acest scop este necesară: înlocuirea numărului de zile folosite în prezent ca indice de precocitate, cu unități de căldură (indici termici), precizarea grupelor cu cerințe comune sau apropiate față de resursele termice și amplasarea lor teritorială în raport cu potențialul energetic măsurat la scară locală.



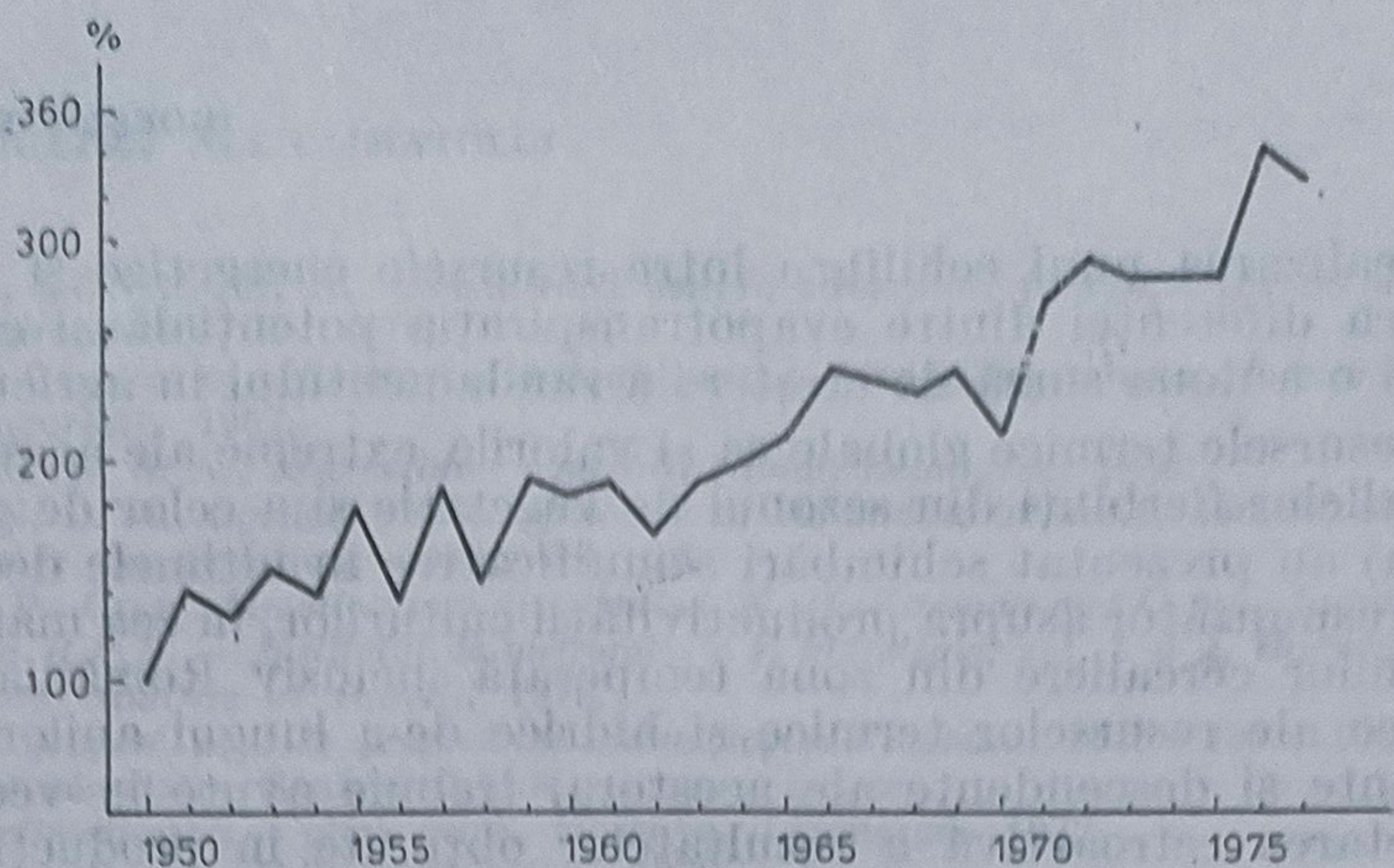


Fig. 8. — Producția vegetală în R. S. România.

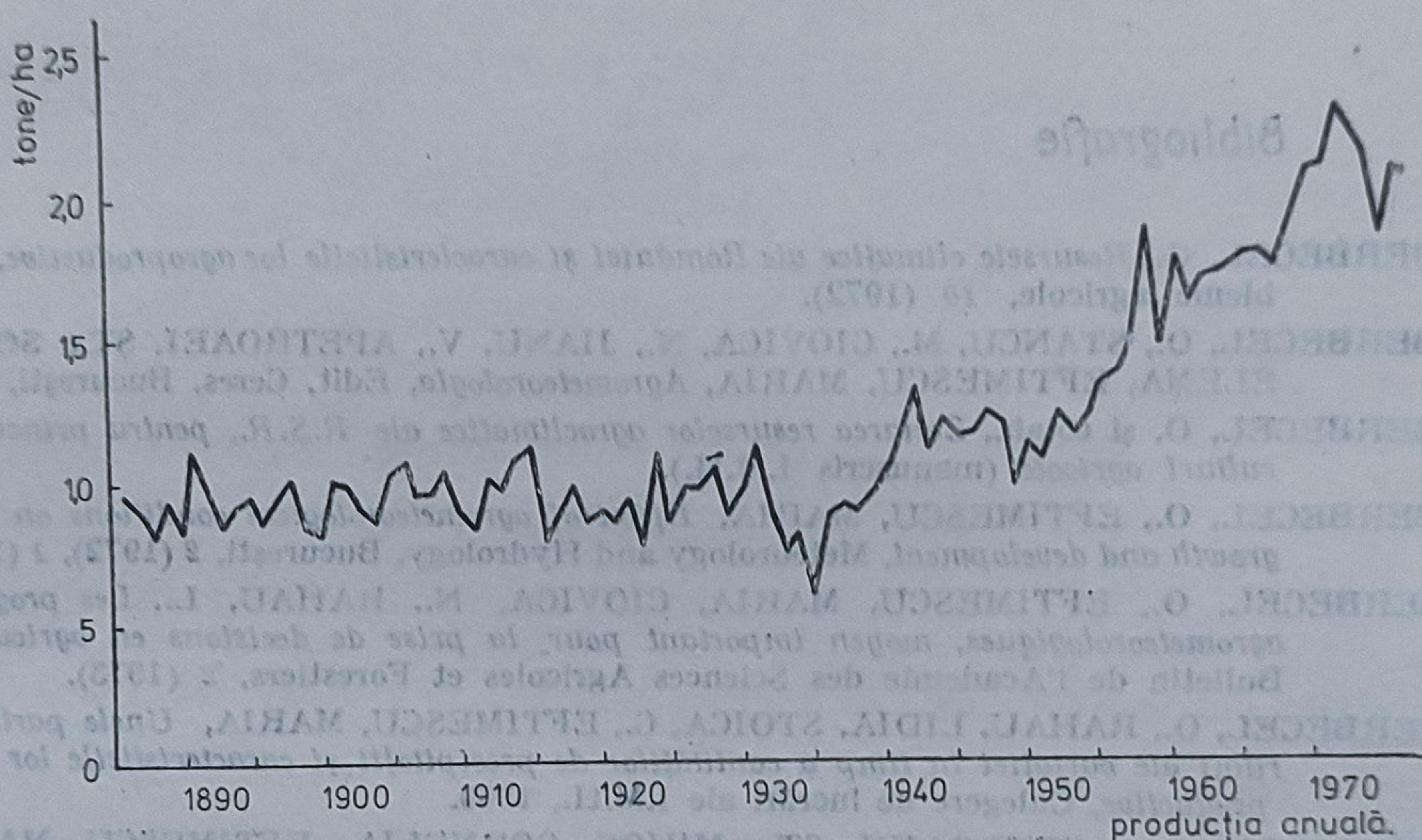


Fig. 9. — Creșterea producției de grâu în S.U.A.

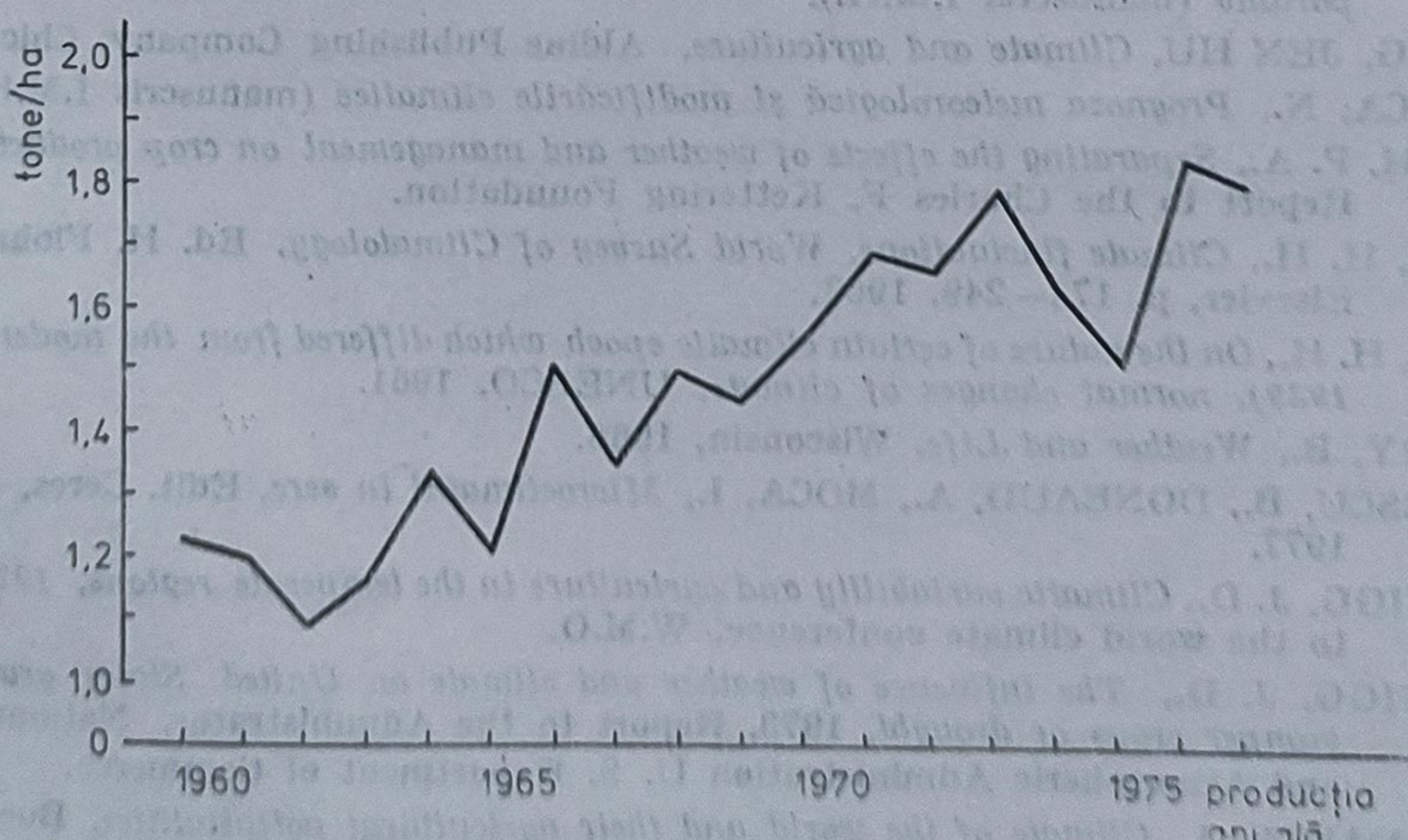


Fig. 10. — Producția medie de grâu din principalele țări producătoare ale zonei temperate (S.U.A., Canada, U.R.S.S., China, Franța, R.F.G., Spania).



Realizarea unui echilibru între resursele energetice și hidrice prin reducerea diferenței dintre evapotranspirația potențială și cea reală reprezintă o a doua sursă de creștere a randamentului în agricultură.

Resursele termice globale ca și valorile extreme ale acestora (succesiunea zilelor fierbinți din sezonul de vegetație și a celor de ger în afara acestuia) au prezentat schimbări semnificative în ultimele decenii cu impact corespunzător asupra productivității culturilor, în cea mai mare parte a regiunilor cerealiere din zona temperată inclusiv România. Oscilațiile puternice ale resurselor termice și hidrice de-a lungul anilor, tendințele ascendente și descendente ale acestora, trebuie avute în vedere atât în interpretarea retroactivă a rezultatelor obținute în producția vegetală, cât și în adaptarea tehnologiilor curente și de perspectivă.

### Bibliografie

1. BERBECEL, O., *Resursele climatice ale României și caracteristicile lor agroproductive*, Probleme agricole, 10 (1972).
2. BERBECEL, O., STANCU, M., CIOVICA, N., JIANU, V., APETROAIEI, ȘT., SOCOR. ELENA, EFTIMESCU, MARIA, *Agrometeorologia*, Edit. Ceres, București, 1970.
3. BERBECEL, O. și colab., *Zonarea resurselor agroclimatice ale R.S.R., pentru principalele culturi agricole* (manuscris I.M.H.).
4. BERBECEL, O., EFTIMESCU, MARIA, *Effect of agrometeorological conditions on maize growth and development*, Meteorology and Hydrology, București, 2 (1972), 1 (1973).
5. BERBECEL, O., EFTIMESCU, MARIA, CIOVICA, N., RAHAU, L., *Les prognoses agrometeorologiques, moyen important pour la prise de decisions en agriculture*, Bulletin de l'Academie des Sciences Agricoles et Forestiers, 2 (1973).
6. BERBECEL, O., RAHAU, LIDIA, STOICA, C., EFTIMESCU, MARIA, *Unele particularități ale variației în timp a cantităților de precipitații și caracteristicile lor agroproductive*, Culegere de lucrări ale I.M.H., 1969.
7. BERBECEL, O., APETROAIEI, ȘT., MIHOC, CORNELIA, EFTIMESCU, MARIA, *Influența condițiilor agrometeorologice asupra stării de vegetație și a recoltelor la porumb* (manuscris I.M.H.).
8. CHANG, JEN HU, *Climate and agriculture*, Aldine Publishing Company, Chicago, 1972.
9. CIOVICA, N., *Prognoza meteorologică și modificările climatice* (manuscris I.M.H.).
10. HAIGH, P. A., *Separating the effects of weather and management on crop production*, 1977, Report to the Charles F. Kettering Foundation.
11. LAMB, H. H., *Climate fluctuations. World Survey of Climatology*, Ed. H. Flohn., vol., 2, Elsevier, p. 173—249, 1963.
12. LAMB, H. H., *On the nature of certain climatic epoch which differed from the modern (1900—1939), normal changes of climate*, UNESCO, 1961.
13. LOWRY, B., *Weather and Life*, Wisconsin, 1966.
14. MANESCU, B., DONEAUD, A., MOCA, I., *Microclimatul în sere*, Edit. Ceres, București, 1977.
15. McQUIGG, J. D., *Climatic variability and agriculture in the temperate regions*, 1979, Report to the world climate conference, W.M.O.
16. McQUIGG, J. D., *The influence of weather and climate on United States grain yields: bumper crops or drought*, 1973, Report to the Administrator, National Oceanic and Atmospheric Administration U. S. Department of Commerce.
17. PAPADAKIS, J., *Climate of the world and their agricultural potentialities*, Buenos Aires, Argentina, 1966.



18. ROȘCA, V., DONEAUD, A., *Considerații asupra climatului în spații închise de cultură*, Hidrotehnica, 4 (1971).
19. SOCOR, E., *Cartarea agroclimatică a bazinului viticol Murfatlar*, Culegere de lucrări I.M.H., București, 1967.
20. SAPOJNICOVA, S. A., *Microclimat i mestnii climat*, Leningrad, 1950.
21. THOMPSON, L. M., *Cyclical weather patterne in the middle latitudes*, Journal of soil and water conservation, 1973, vol. 28.
23. WILSY, C. P., *Crop adaptation and distribution* W. H. Freeman and Comp., London, 1962.
24. \* \* \* *Clima R.P.R. — Institutul de meteorologie și hidrologie*, vol. 1 și 2, București, 1962.
25. \* \* \* *Anuarul statistic al R.S.R.*, 1978.
26. \* \* \* *Plan proposé pour le programme climatologique mondial 1980—1983*, Propositions du Secrétaire Général O.M.M. Geneve, Suisse.
27. \* \* \* *Agroclimaticeskii — atlas mira*, Moscova, Leningrad, 1972.
28. \* \* \* *Atlasul R.S.R.*, Edit. Academiei, 1972.
29. \* \* \* *Atlasul agroclimatic al R.S.R.*, (manuscris I.M.H.)
30. \* \* \* *Atlasul climatologic al R.S.R.*, Editura Academiei, București, 1966.



## FOTOSINTEZA ȘI CELULELE SOLARE

Victor GHEORGHE\*),  
Laura ȚUGULEA\*)

### Photosynthesis and the solar cells

The primary events in photosynthesis are generally believed to occur within a photosynthesis unit, in which the light energy is efficiently converted into chemical energy.

Chlorophyll *a* is the major pigment in photosynthesis. Under certain experimental conditions, chlorophyll *a* exhibits a quantum efficiency for photoeffects comparable to that reported for the most efficient photovoltaic systems using organic materials. Such performances have been obtained by using photovoltaic devices with microcrystalline chlorophyll *a*, of sandwich type.

In order to improve the quantum efficiency and the time dependence of these photovoltaic cells, studies concerning the influence of several chemical factors have been performed.

\*) Universitatea București.

Energia solară este exploatată de către natură, într-un mod eficient, prin intermediul procesului de fotosinteză. De aceea, în prezent, pe lista surselor de energie de origine solară un loc aparte îl ocupă cele care implică fotosinteza.

Fotosinteza încă se definește ca fiind procesul în care are loc asimilarea  $\text{CO}_2$ , sub acțiunea luminii, pentru a forma carbohidrați și oxigen. Conform ultimelor cercetări, se pare că produșii primari ai reacțiilor de lumină fotosintetice pot fi folosiți și în alte procese metabolice, nu numai în biosinteza carbohidraților.

Energia solară pătrunde în aparatul fotosintetic al plantelor superioare și algelor prin două puncte: cele două sisteme de pigmenți fotosintetici. Fiecare sistem de pigmenți fotosintetici cuprinde: clorofilă *a* (pigmentul major), clorofilă *b* și alți pigmenți accesorii în diferite proporții. Părerea cea mai acceptată asupra actului fotochimic primar este aceea că, cuanta de excitație luminoasă absorbită de către așa numita clorofilă antena (colectoare), este transferată eficient la clorofila centrului de reacție. Clorofila centrului de reacție, al sistemului de pigmenți I sau II, trece în stare excitată și poate dona un electron acceptorului primar, electron pe care îl reprimește de la donorul primar. Au loc deci, două reacții de lumină. În schema cea mai acceptată a fotosintezei — schema Z (Hill-Bendall) — cele două reacții operează în serie, sistemele de pigmenți fotosintetici fiind conectate printr-un lanț transportor de electroni.

Eficiența conversiei energiei solare în procesul de fotosinteză poate fi definită într-o varietate de moduri. Alegerea depinde



de considerații practice și se explică astfel, diversitatea valorilor ce se găsesc în [1, 2].

Eficiența fotosintetică poate fi definită, de exemplu, ca viteza de producere a grăului per  $m^2$  la o anumită latitudine, în condiții medii, divizată prin fluxul total de radiație, pe pământ la acea latitudine. O altă definiție ar fi: viteza de excitație a centrilor de reacție primari divizată prin viteza de absorbție a fotonilor dintr-un fascicul coerent, colimat.

Conversia energiei luminoase la nivelul centrilor de reacție în actul fotochimic primar, este un proces foarte eficient, dacă este privit atât la nivel macroscopic cât și la nivel molecular. Studiul factorilor care determină cantitativ această eficiență și elucidarea transferului de excitație în unitatea fotosintetică prezintă atât interes fundamental cât și aplicativ. Calea biomimetică de realizare a unor dispozitive de conversie eficientă a energiei solare este în atenția a numeroși oameni de știință, deși pare încă vizionară.

Generarea fotosintetică a hidrogenului sau realizarea de celule solare cu pigmenți fotosintetici reprezintă, în prezent, obiectul a numeroase cercetări. Se preconizează dezvoltarea acestor modalități de bioconversie a energiei solare, ele figurând tot mai des pe lista noilor surse de energie neconvenționale.

### Dispozitive fotovoltaiice cu pigmenți fotosintetici

Un dispozitiv care convertește energia luminoasă direct în energie electrică se numește dispozitiv fotovoltaiic. Un asemenea dispozitiv fotovoltaiic, care debitează eficient energia electrică pe o impedanță adecvată, reprezintă o celulă solară.

Utilizarea celulelor solare drept surse de energie electrică prezintă o serie de avantaje: sînt nepoluante, conversia este directă, energia solară este nelimitată. Pentru a fi însă competitive cu alte surse de energie electrică, costul celulelor solare cu substanțe anorganice (Si, Al—GaAs) trebuie redus de sute de ori. Realizarea de dispozitive fotovoltaiice cu materiale organice sau biologice începe să fie promițătoare în acest sens, datorită abundenței acestor materiale și tehnologiei mult mai simple. În categoria acestor noi materiale, utilizate în realizarea dispozitivelor fotovoltaiice, se înscriu în primul rînd pigmenții fotosintetici. Aceștia posedă două proprietăți necesare unui material utilizat în realizarea unui dispozitiv fotovoltaiic eficient: prezintă absorbție puternică în domeniul vizibil (unde există maxim de energie solară radiată); au o energie de activare pentru semiconducție: 1,12—1,65 eV, deci în domeniul 1—2 eV, pentru care eficiențele calculate ale dispozitivelor fotovoltaiice sînt maxime [3].

Principalele dezavantaje ale dispozitivelor fotovoltaiice realizate cu pigmenți fotosintetici sînt legate de stabilitatea lor în timp și eficiență. Comparația între calculele de eficiență fotosintetice și cele fotovoltaiice poate avea cel mult o validitate calitativă, servind la ilustrarea universalității principiilor implicate. Comparația valorică dezavantajează net acest tip de dispozitive fotovoltaiice, deși eficiența de  $10^{-2}\%$  a unei fotocelule



cu clorofilă  $a$  [4] este maximă în rândul dispozitivelor fotovoltaice realizate cu substanțe organice.

Cercetările din ultimii ani, vizînd efectele fotovoltaice pe sisteme cu pigmenți fotosintetici, s-au îndreptat în mai multe direcții: studiul proprietăților fotovoltaice ale peliculelor de pigmenți fotosintetici, în contact cu diverși electroliți; studiul efectelor fotovoltaice în sisteme bilipidice cu pigmenți fotosintetici; studiul proprietăților fotovoltaice ale sistemelor metal-pigmenți fotosintetici—metal.

### Efectele fotovoltaice în sisteme metal-pigmenți fotosintetici — metal

Studiile privind efectele fotoelectrice ale clorofilelor în stare solidă (filme subțiri) au fost limitate de dificultăți de preparare. Multe studii au fost efectuate de aceea, pe analogi ai clorofilei cum ar fi porfirinele sau ftalocianinele și complecșii lor metalici.

Primele studii efectuate pe clorofilă  $a$  au identificat că ea este un fotoconductor suficient de slab. Nu reieșea destul de clar dacă randamentul scăzut al fotoconducției se datora eficienței slabe de generare a purtătorilor sau trapării puternice exercitate asupra sarcinilor. Ulterior, o serie de cercetări au demonstrat că în anumite condiții experimentale, clorofila  $a$  poate avea un randament cuantic ridicat pentru fotoefecte.

Lucrările cercetătorilor sovietici [5, 6] au arătat că fotoconductivitatea clorofilei  $a$  este crescută în prezența vaporilor de apă. Spectrul de acțiune al fotoconductivității este deplasat spre roșu, atunci cînd clorofila este activată de apă.

În 1974, Tang și Albrecht [7] au reușit să obțină filme subțiri de clorofilă  $a$  microcristalină, prin electrodepunere. Filmele astfel realizate au prezentat fotoefecte cu eficiență de conversie ridicată, iar spectrul de acțiune al fotoconducției urmîndu-se aproape spectrul de absorbție al clorofilelor în stare microcristalină [4]. Specia de clorofilă denumită clorofilă microcristalină reprezintă o formă specifică de agregare a clorofilei  $a$  cu apa, cu proprietăți optice și electrice remarcabile. Clorofila  $a$  microcristalină este caracterizată de o deplasare puternică a maximului de absorbție din roșu, relativ la clorofila în stare monomeră (740—745 nm față de 665 nm). Această deplasare reprezintă și o modalitate de evidențiere a formei microcristaline a clorofilei.

Studii recente s-au preocupat de obținerea clorofilei în stare microcristalină și studierea proprietăților acestei forme de clorofilă, în vederea realizării unor dispozitive fotovoltaice cu pigmenți fotosintetici [9]. Clorofila microcristalină a fost obținută prin metoda clasică [8] sau printr-o metodă mai rapidă și mai comodă, pusă la punct de către noi [9]. Proprietățile acestei specii de clorofilă au fost studiate cu ajutorul spectroscopiei în vizibil și microscopiei electronice, corelată cu difracție de electroni pe arie selectată [10]. Proprietățile fotoelectrice ale clorofilei microcristaline au fost studiate pe sisteme de tipul metal<sub>1</sub> — strat de pigmenți fotosintetici — metal<sub>2</sub>, stratul de pigmenți fiind realizat prin electrodepunere. Un astfel de dispozitiv, de tip sandwich, este prezentat în figura 1. Grosimea stratului de pigmenți, electrodepus, a fost de ordinul  $\mu$  sau zecilor de  $\mu$ .



Comportarea electrică a dispozitivelor de tip (Al-strat de pigmenti fotosintetici — Hg) a fost studiată în condiții de întuneric și iluminare [11]. În figura 2 este prezentată caracteristica  $I-V$  a unui dispozitiv (Al — clorofilă a — Hg), la întuneric și în regim de iluminare continuă.

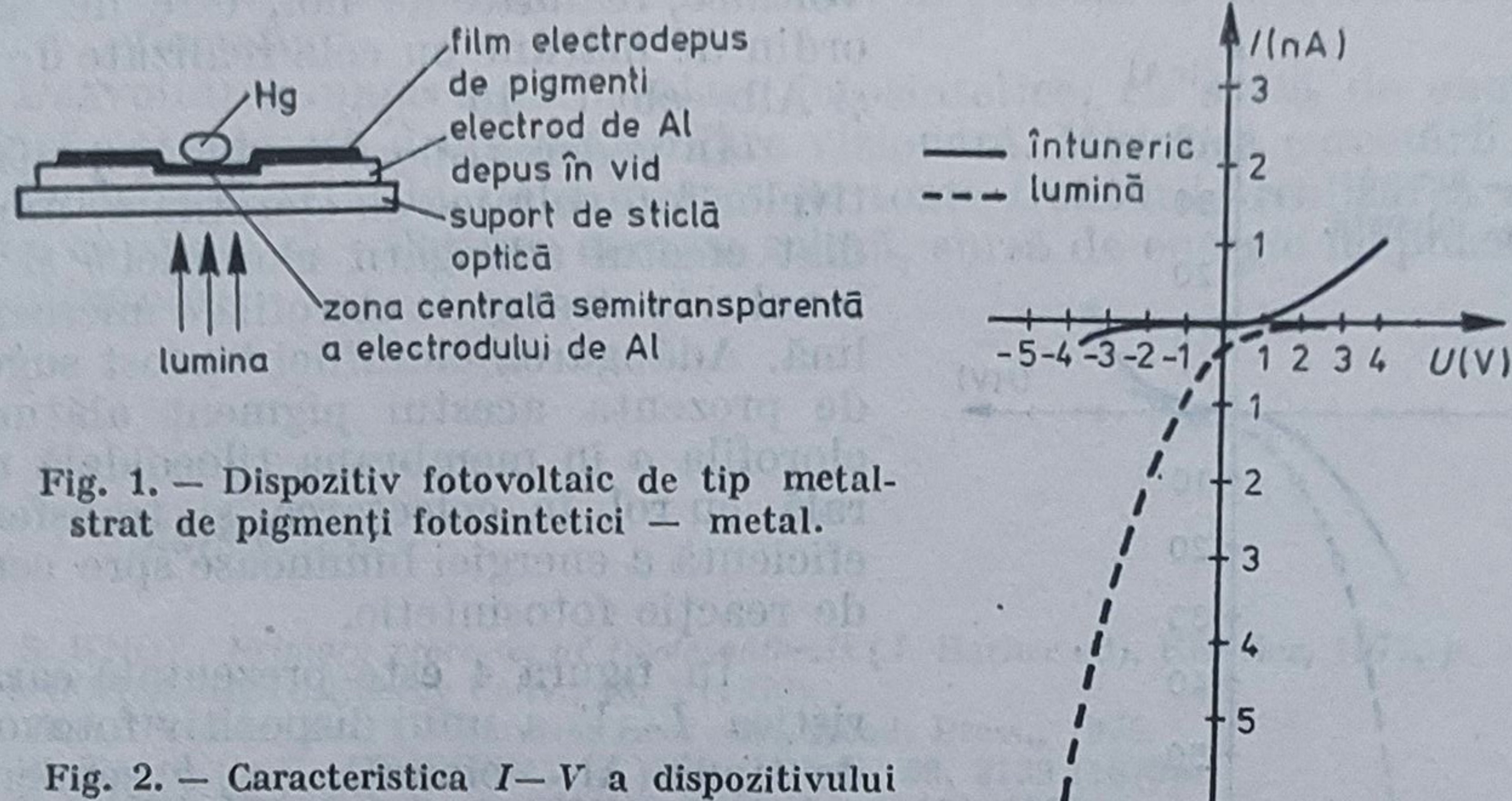


Fig. 1. — Dispozitiv fotovoltaic de tip metal-strat de pigmenti fotosintetici — metal.

Fig. 2. — Caracteristica  $I-V$  a dispozitivului fotovoltaic (Al—Cla—Hg).

La polarizarea directă (electrodul de Al la minus) curentul de întuneric este mult mai mare decât la polarizare inversă, dispozitivul prezentând proprietăți de redresare. Fotocurentul prezintă o comportare inversă, cu valori mici la polarizare directă și valori mari la polarizare inversă. Caracteristica  $I-V$  la iluminare trece prin cadranul IV, proprietate specifică dispozitivelor fotovoltaice. Pe domeniul de tensiuni explorat, curentul direct de întuneric prezintă o dependență exponențială de tensiune, iar curentul invers de întuneric prezintă o dependență exponențială de  $\sqrt{V}$  (fig. 3). Această comportare indică prezența unei bariere de tip Schottky

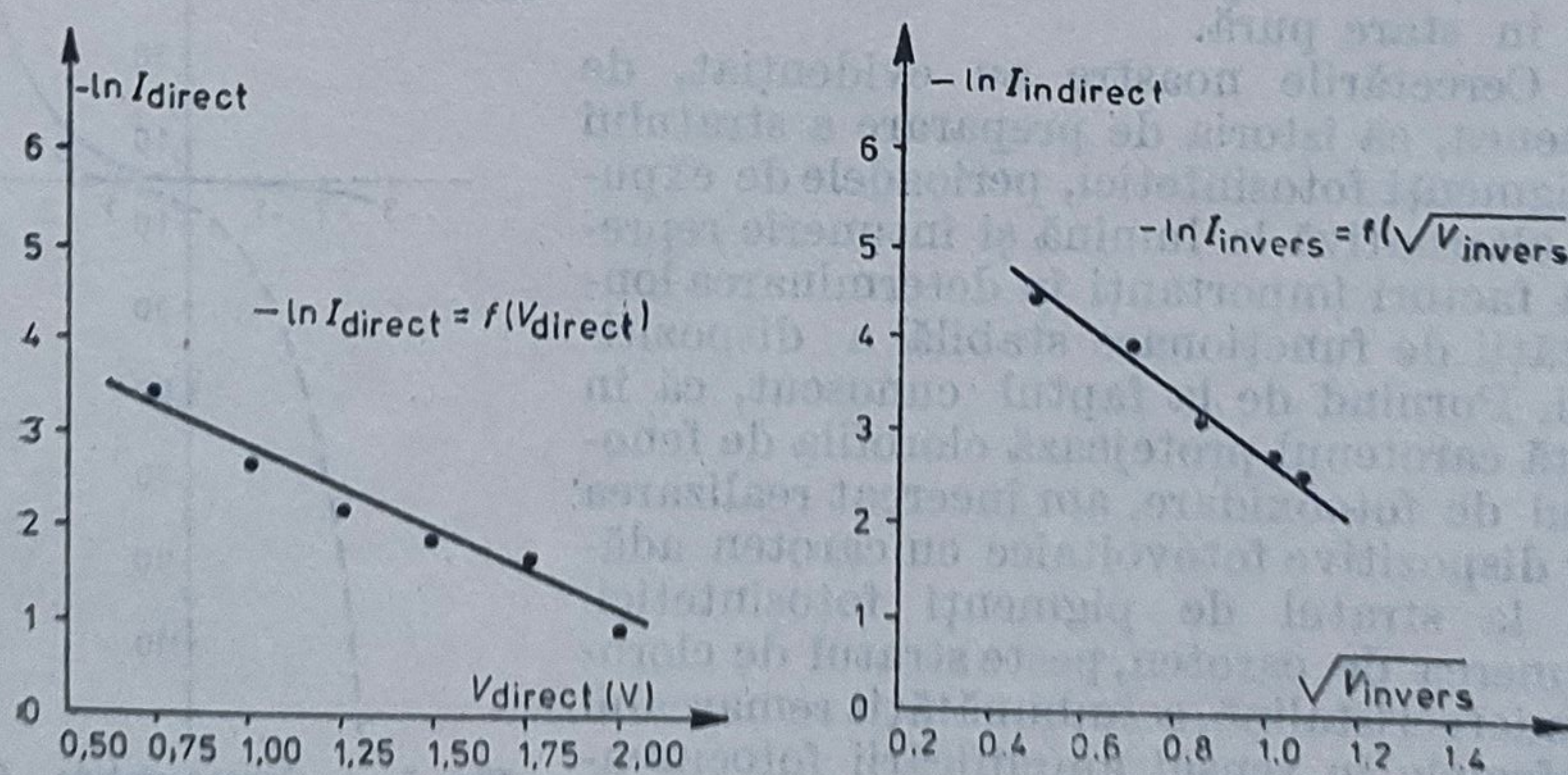


Fig. 3. — Dependenta curentului de întuneric de tensiunea aplicată în cazul dispozitivului fotovoltaic (Al—Cla—Hg).



la joncțiunea Al/clorofila *a*. O explicație calitativă a comportării electrice a dispozitivului (Al — clorofila *a* — Hg) se poate da considerînd proprietățile de semiconductor tip *p* ale clorofilei *a* și regiunea fotovoltaică activă a contactul dintre clorofilă și electrodul de aluminiu. Eficiența de conversie a energiei luminoase a dispozitivelor fotovoltaice, realizate de noi, este de același ordin de mărime cu cele realizate de Tang și Albrecht ( $\sim 10^{-2}\%$ ).

În vederea sporirii eficienței dispozitivelor fotovoltaice cu clorofilă *a*, am studiat efectul adăugării clorofilei *b* și carotenului la stratul de clorofilă *a* microcristalină. Adăugarea clorofilei *b* a fost sugerată de prezența acestui pigment alături de clorofila *a* în membrana tilocoidală naturală, cu rol în colectarea și transferarea eficientă a energiei luminoase spre centrul de reacție fotosintetic.

În figura 4 este prezentată caracteristica *I*—*V* a unui dispozitiv fotovoltaic de tipul (Al — clorofila (*a*+*b*) semicristalină — Hg) la întuneric și în regim de iluminare continuă. S-a folosit un amestec de 90% clorofilă *a* și 10% clorofilă *b*. Acest tip de dispozitiv, realizat în aceleași condiții de lucru ca și cel de tipul (Al — clorofila *a* — Hg), a prezentat curenți pînă la două ordine de mărime mai mari față de cele cu

clorofilă *a* pură. Aceleași proprietăți de redresare au fost evidențiate și la acest tip de dispozitiv.

Deci, caracteristicile de conducție, ale amestecurilor de clorofilă *a* și *b* în concentrații adecvate, sînt superioare celor ale clorofilelor în stare pură.

Cercetările noastre au evidențiat, de asemenea, că istoria de preparare a stratului de pigmenti fotosintetici, perioadele de expunere alternativă la lumină și întuneric reprezintă factori importanți în determinarea longevității de funcționare stabilă a dispozitivului. Pornind de la faptul cunoscut, că în plantă carotenul protejează clorofila de fenomenul de fotooxidare, am încercat realizarea unor dispozitive fotovoltaice cu caroten adăugat la stratul de pigmenti fotosintetici. Depunerea de caroten, peste stratul de clorofilă microcristalină, a îmbunătățit remarcabil fotoefectele în sensul amplificării fotocurenților și fotopotențialelor (fig. 5). De asemenea, s-a remarcat o mai bună reproductibi-

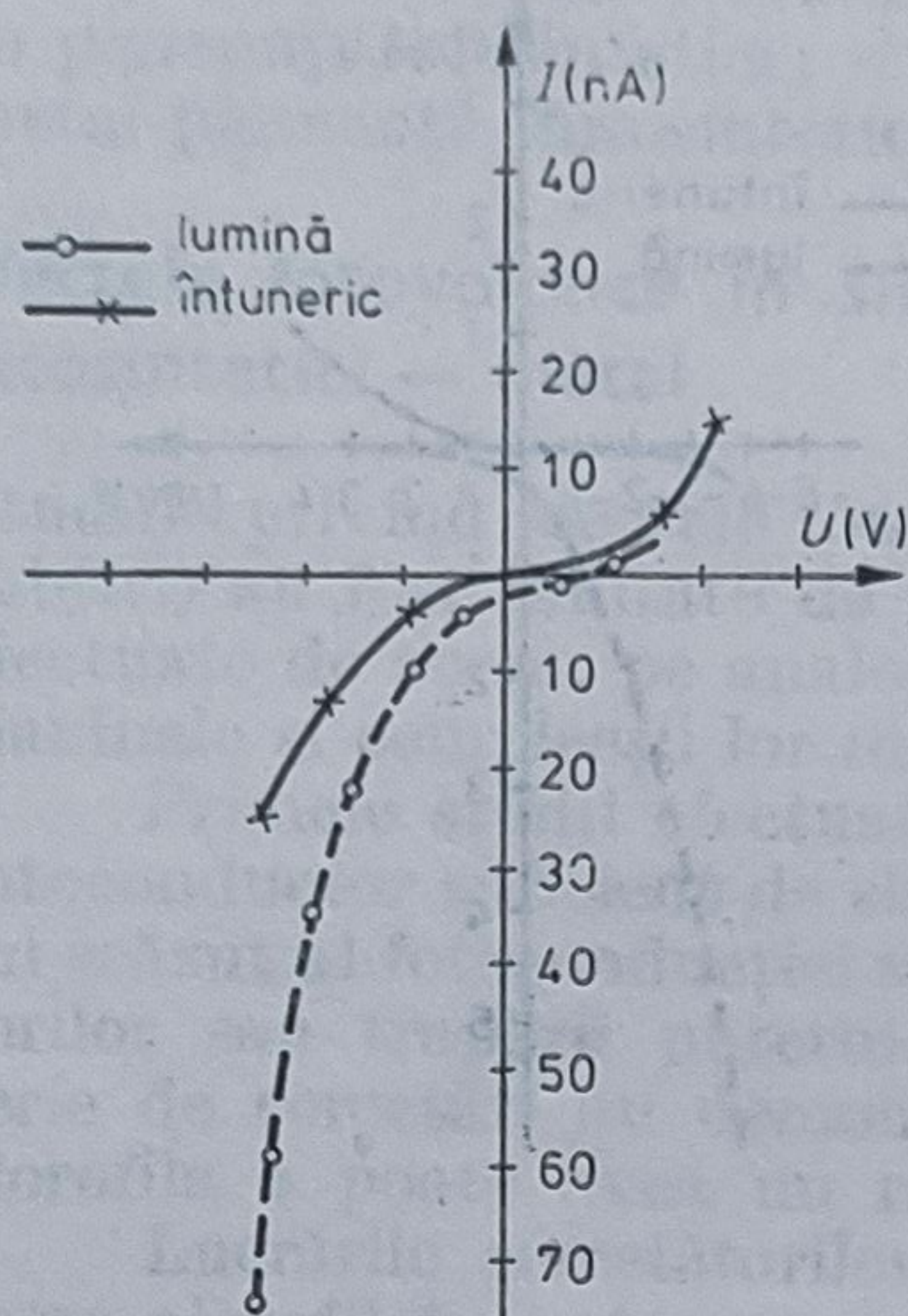


Fig. 4. — Caracteristica *I*—*V* a dispozitivului fotovoltaic (Al—Cl<sub>a</sub>—Cl<sub>b</sub>—Hg).

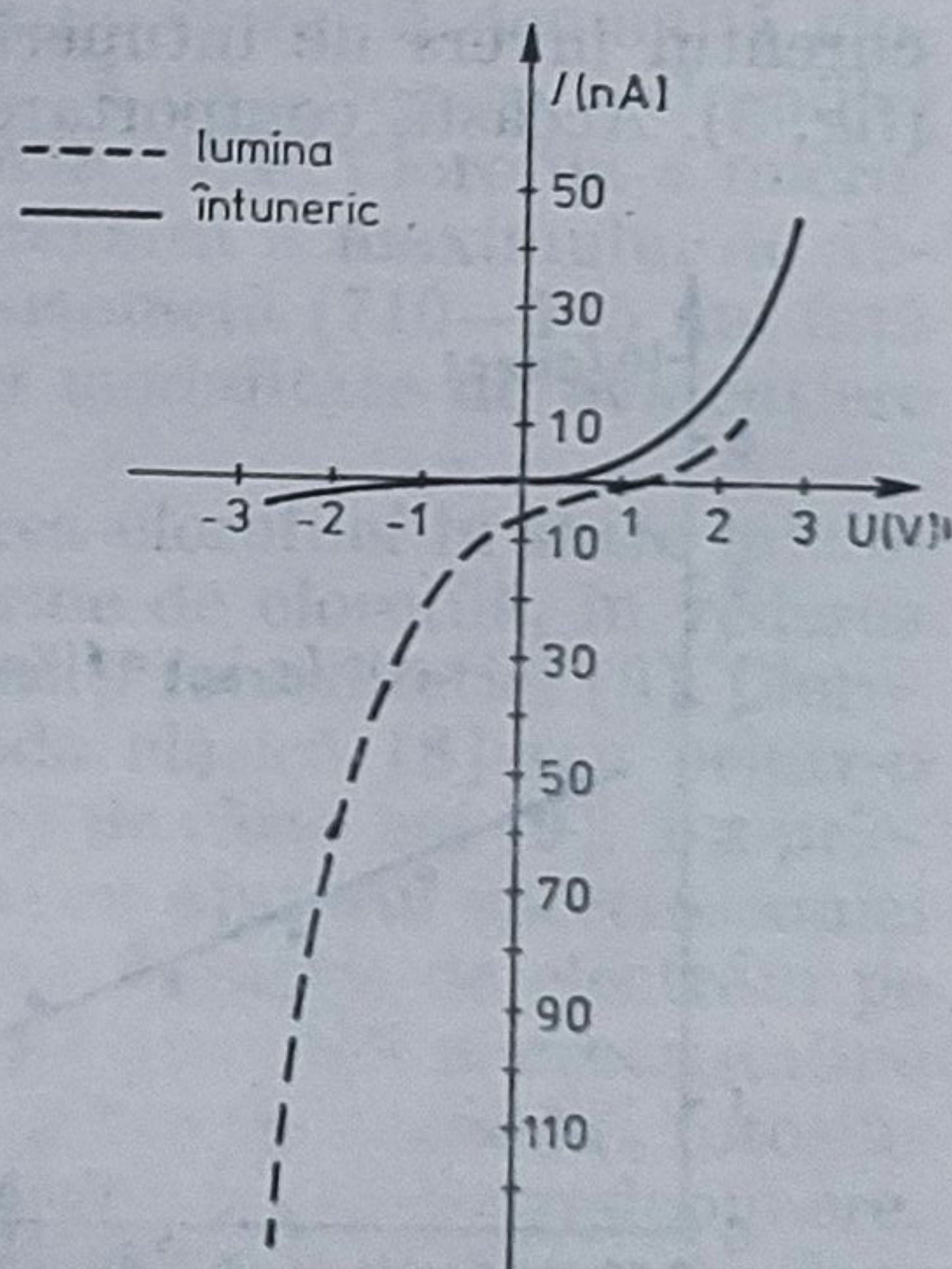


Fig. 5. — Caracteristica *I*—*V* a dispozitivului fotovoltaic (Al—Cl<sub>a</sub>, caroten—Hg).



litate a datelor la repetarea măsurătorilor în condițiile unui regim de echilibru (10' de iluminare) [12].

Desigur, toate aceste dispozitive fotovoltaiice cu pigmenți fotosintetici pun încă multe probleme cercetării, legate în primul rând de creșterea eficienței de conversie și a stabilității în timp. O posibilitate ar fi chiar utilizarea centrilor de reacție fotosintetici în realizarea unor celule fotovoltaiice eficiente.

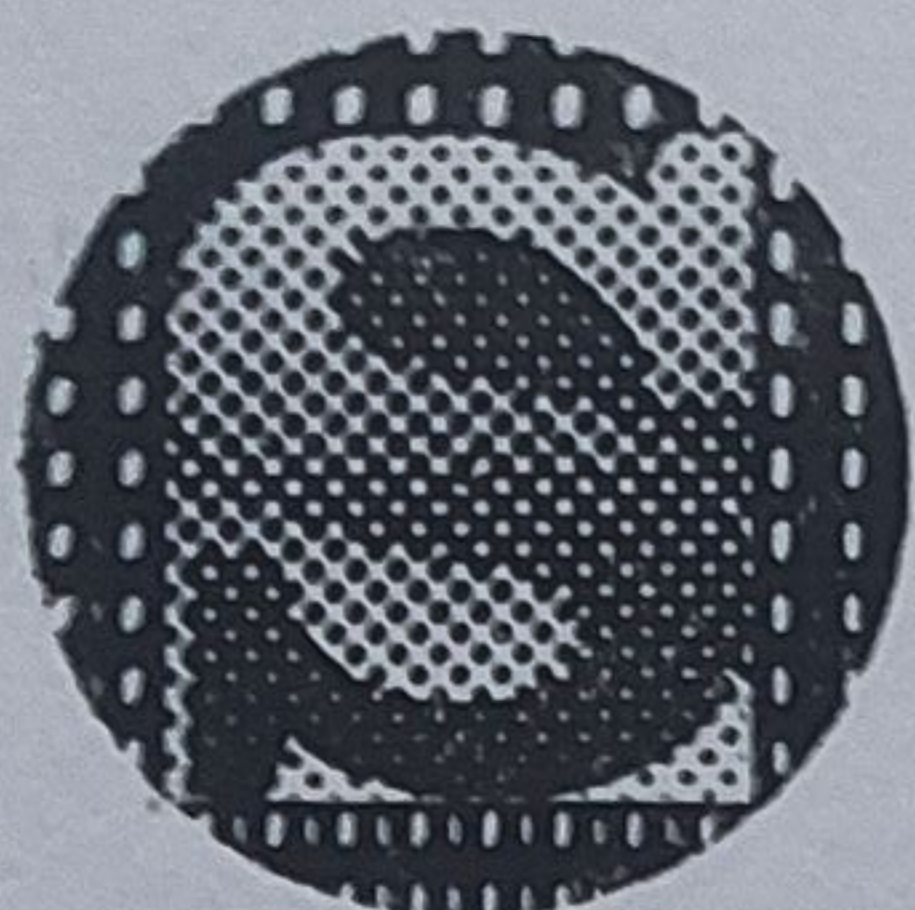
Dezvoltarea unor baterii solare fotosintetice, ca sursă de energie, este încă considerată drept o abordare vizionară. Misiunea cercetării este de a depăși dificultățile, de a încerca pe toate fronturile realizarea unor sisteme capabile să valorifice energia solară, sursă de energie inepuizabilă și nepoluantă.

### Bibliografie

1. R. S. KNOX, *Primary processes of Photosynthesis* (J. Barber ed), Elsevier, 1977, p. 55.
2. TH. SCHNEIDER, *Energy Conv.*, **13**, 3 (1973).
3. H. HOVEL, *Solar cells* (Willardson Beer eds), Acad. Press., 1975.
4. C. W. TANG, A. C. ALBRECHT, *J. Chem. Phys.*, **62**, 2139 (1975).
5. V. B. EVSTIGNEEV, I. G., JARKINA, *Biofizika*, **8**, 181 (1963).
6. V. B. EVSTIGNEEV, A. A. KAUKOVA, B. A. KISELEV, *Biofizika*, **15**, 53 (1973).
7. C. W. TANG, A. C. ALBRECHT, *Mol. Liq. Cryst.*, **25**, 53 (1974).
8. E. E. JACOBS, A. E. WATHER, A. S. HOLT, *Arch. Biochem. and Biophys.*, **53**, 228 (1954).
9. \* \* \* *Studiul procesului de fotosinteză în vederea folosirii acestuia în bioconversia energiei solare*, Contract CNST, 1976/1978.
10. V. GHEORGHE, LAURA ȚUGULEA, V. TEODORESCU, *Experimental trends in Physics* (V. Gheorghe, N. Gherbanovschi, eds), ICEFIZ, 1979, p. 239.
11. V. GHEORGHE, LAURA ȚUGULEA, ELIZA VASILE, *Analele Universității București*, **26**, 53 (1977).
12. V. GHEORGHE, LAURA ȚUGULEA, ANCA BEJAN, *Al IV-lea Simpozion național de biofizică*, 1979, p. 178.



ENERGIA SOLARA  
S. MICHEL ANJAN



## Probleme ale implementării energiei solare



## ENERGIA SOLARĂ ȘI MEDIUL AMBIANT

Petre ROMAN\*)

Analizînd diversele opțiuni și posibila lor utilizare în cadrul unei strategii a energiei solare este firesc să ne punem întrebarea care este corelația între dezvoltarea conversiei energiei solare pe scară largă respectiv la scară planetară și mediul înconjurător. Sînt cunoscute preocupările intense actuale pentru circumscrierea efectelor nedorite ale producerii și consumului de energie avînd la bază combustibilii fosili.

Există în prezent o serie de probleme practic nerezolvate legate de dispunerea deșeurilor rezultate în activitatea energetică. Cu atît mai mult se impune studierea atentă a impactului energiei solare asupra mediului și în primul rînd asupra climei. Acest impact se poate traduce într-o serie de restricții substanțiale asupra sistemelor de energie ale viitorului. În stadiul actual sînt conturate deja două căi principale prin care conversia și utilizarea energiei, în general, poate provoca schimbări importante ale climei.

Întîi este vorba de creșterea conținutului de  $\text{CO}_2$  în atmosferă ca rezultat al arderii combustibililor fosili, creștere care poate conduce la ridicarea temperaturii medii în atmosferă și la modificări climatice. În al doilea rînd este vorba de evacuarea unor mari cantități de căldură în atmosferă, concentrate în zonele industrializate și urbane care reprezintă numai o foarte mică parte din suprafața Pămîntului. Urmarea acestei concentrări este apariția unor așa-numite „insule de căldură” care influențează puternic clima la nivel regional.

Există și alte modalități de modificare a climei cum sînt schimbări ale parametrilor fizici ca urmare a unor modificări pe scară

### Solar energy and the environment

Large scale use of solar energy could have unexpected environmental side effects. The paper explores in an original way climatic implications of some well-known solar energy technologies.

\*) Institutul politehnic București.



largă a vegetației naturale, ale conversiei pădurilor în scopuri agricole sau ale suprafețelor ocupate de apă prin crearea de lacuri artificiale sau prin amenajări complexe se apreciază că influența lor asupra micro și mezoclimelor deși certă nu este încă riguros studiată [1].

Despre dezvoltarea și extinderea tehnologiilor de conversie a energiei solare volumul de față cuprinde o serie de comunicări deosebit de relevante în ce privește creșterea gradului de acoperire a necesarului de energie în viitor pe calea recuperării energiei solare și constituirea într-o perspectivă destul de apropiată a noi sisteme de energie.

În legătură cu corelația [energetică solară — mediu] vom sublinia înainte de toate așa cum am făcut-o și în alte ocazii, caracterul cu precădere negentropic al acestei resurse.

Dacă tot mai mulți oameni, între care și autorii, admit astăzi necesitatea implementării unei societăți antientropice care presupune transformarea radicală a relației societate — natură, atunci corolarul obligatoriu al acestei idei este recuperarea energiei solare.

Prin însăși caracterul său de resursă practic nelimitată ea oferă un câmp infinit de posibilități de afirmare a geniului tehnic și științific uman care intră deja în competiție cu eforturile, am zice încrâncenate de a mai folosi combustibilii fosili. Tehnologiile de recuperare și conversie a combustibililor fosili încep să devină tot mai costisitoare și energia produsă e tot mai scumpă și în continuare aproape la fel de poluantă prin consecințe ca și până acum în timp ce tehnologiile energeticii solare prezintă avantajele fazei inițiale de penetrare (dinamică susținută, diversitate, largă susținere din partea opiniei publice).

Dar, pentru a nu repeta erori, pentru a nu fi nevoiți să combatem fără să fi încercat să prevenim, este necesar să studiem acum, atent și riguros, efectele acestor noi sisteme de energie asupra mediului.

Cu referire la comunicarea noastră anterioară privitoare la opțiunile energeticii solare pe scară largă vom aborda aspecte ale efectelor fizice și implicațiilor climatice ale acestor opțiuni.

Orice estimări ale modificărilor de climă se bazează pe studiul variației parametrilor fizici caracteristici cum sînt albedo, rugozitatea suprafeței Pămîntului, conținutul de umiditate al terenurilor, precipitațiile, temperatura la suprafața Pămîntului și în atmosferă etc.

Într-un studiu important al fizicianului francez Jacquet [2] se arată că: „estimarea prospectivă a modificărilor artificiale care ar apare în schimburile de energie ale sistemului Continente—Oceane—Atmosferă și ca urmare în fenomenele meteorologice la scară largă, presupune utilizarea fie a modelelor de simulare dinamică și termodinamică a circulației generale atmosferice, fie a modelelor climatice de evoluție a stărilor medii ale sistemului”.

Modelele dinamice la scară largă, existente actualmente, necesită o cantitate de date enormă și timp de calcul considerabil. Dar marele lor dezavantaj constă în faptul că erorile inițiale, inevitabile în asemenea cazuri, se amplifică rapid și nu permit ca în final să se constate dacă variațiile obținute sînt datorate acestor erori sau rezultatelor modelului.

Modelele climatice, mai puțin complicate și mai ușor de tratat permit o anumită estimare a perturbațiilor introduse de activitatea umană dar nu satisfac nici ele întotdeauna datorită îndeosebi necunoașterii cu sufi-



cientă precizie a termenilor bilanțului energetic. Se arată de exemplu că estimarea albedoului Terrei a suferit modificări sensibile fie în sensul scăderii de la 43% la 29% pentru unele regiuni fie în sensul creșterii (deșerturile) de la 30% la 40%.

În tabela 1 se arată modul cum s-au introdus parametri fizici într-o serie de modele climatice aplicate în prezent.

În ce constau efectele posibile ale introducerii sistemelor de energie solară pe scară largă?

#### VARIAȚIA PARAMETRILOR FIZICI

#### IMPLICAȚII CLIMATICE

##### 1°. Conversia Solară Termoelectrică — CSTE

- Albedo 30% ÷ 22%
- 28% din radiația incidentă se transformă în electricitate
- mică modificare a raportului între căldura absorbită prin convecție și respectiv conducție
- creșterea rugozității suprafeței
- scade porozitatea suprafeței
- creșterea precipitațiilor
- modificări ale fluxurilor de energie și vaporii de apă între suprafață și atmosferă
- schimbări ale înnoirărilor și vînturilor

##### 2° Conversia Fotovoltaică

- scăderea substanțială a albedoului
- creștere a rugozității suprafeței
- modificarea porozității

aceleași implicații ca la CSTE

##### 3° Conversia Energiei Termice a Océanelor — CETO

- scăderea temperaturii la suprafața apei
- creștere temperaturii la adîncime cu 1°—3°C
- scăderea temperaturii aerului în zonă
- schimbări ale brizei marine

##### 4°. Bioconversia — CBM

- variații de albedo, evapo-transpirației, hidrologiei locale, temperatura solului
- modificarea precipitației și a temperaturii aerului cu efecte probabile la scară largă
- contaminarea atmosferei ca urmare a combustiei biomasei

##### 5°. Centrale Solare Orbitale — CSO

- ionizări ale atmosferei prin trecerea fasciculelor de microunde
- fluxuri suplimentare de căldură în atmosferă
- perturbări prin introducerea corpurilor de rachetă și arderilor

O imagine globală a efectelor conversiei energiei solare se prezintă în tabela 2.



Tabela 1

Caracteristicile ale modelelor de calcul climatice pentru estimarea sensibilității la tehnologiile de conversie (după Randerson [3])

Model variabila	NCAR*) (Williams și al.) (1974)	GISS**) (Sommerville și al.) (1974)	GFDL,***) (1975)	Zonal Atm. Model (Potter și al.) (1975)
Albedo	valori observate, specificate în toate punctele suprafeței terestre de calcul	0,07 — oceane 0,14 — pământ 0,70 — zăpadă, ghețuri	valori observate cu excepția zonelor acoperite cu zăpadă unde $A = f(h)$	specificări detaliate depinzând de tipul suprafeței
Rugozitatea suprafeței	$C_R = 0,03$	$C_R$ — funcție de viteza vântului, stabilitatea statică a suprafeței, înălțimea denivelărilor	$C_R$ calculat pentru o rugozitate echivalentă	4 valori $C_R$ depinzând de tipul suprafeței și de instabilitatea atmosferei
Hidrologie	procentaj global fără a calcula bilanțul pe suprafețe hidrografice	specificția umidității solului	parametri simplificați ai proceselor hidrologice (evaporație, umiditate, zăpadă)	teren uscat sau umid, zăpadă acumulată sau gheața mării în topire sau în formare
Temperatura la suprafață	calcul pe suprafața terestră			calcul separat pentru fiecare tip de suprafață
Precipitații	calcul pentru ploaie			calcul pentru ploaie + zăpadă
Temperatura oceanelor	cuplat cu temperatura la suprafața terestră			date observate ale fluxurilor de căldură specifică : calculul bilanțului radiației
Conținutul de $CO_2$ atmosferic	radiația infraroșie funcție de capacitatea de absorbție a gazelor considerând funcții analitice de reprezentare	calcule detaliate a transferului de energie prin radiația solară și terestră incluzând efectul $CO_2$	estimarea influenței $CO_2$ la diferite nivele ale atmosferei	schemă a radiației de undă lungă care include efectul $CO_2$

\*) NCAR — National Center Atmospheric Research

\*\*) GISS — Goddard Institute Space Studies

\*\*\*) GFDL — Geophysical Fluid Dynamics Laboratory



**Tabela 2**  
**Efecte fizice globale ale diferitelor tehnologii de conversie a energiei solare (după [4])**

Natura efectului	Tehnologia de conversie
Alterarea suprafeței Pământului	<ul style="list-style-type: none"> <li>● CSTE</li> <li>● CEE</li> <li>● CBM</li> </ul>
Producția de energie cu evacuare de căldură reziduală	<ul style="list-style-type: none"> <li>● CSTE</li> <li>● CEE</li> <li>● CBM</li> </ul>
Contaminare a atmosferei (gaze + particule)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● CBM</li> </ul>
Modificarea temperaturii oceanelor	<ul style="list-style-type: none"> <li>● CETO</li> </ul>

#### Referințe bibliografice

1. \* \* \* *Study of Man's Impact on Climate (SMIC)*, Report on inadvertent Climate Modification, MIT Press, Cambridge, 1971.
2. JACQUET, J., *L'influence de l'homme sur le bilan thermique de la planète*, Bulletin EDF, série A, 3/4 (1974).
3. RANDERSON, D., *Overview of Regional-Scale Numerical Models*, Bull. AMS, **57** (1976).
4. \* \* \* *Climate and Solar Energy Conversion*, IIASA Report, CP-77-9, 1977.



# HIDROGENUL — PURTĂTOR AL ENERGIEI SOLARE

Dumitru GOIDEA\*)

## 1. Situația actuală a resurselor de energie

În etapa actuală consumul de energie a fost asigurat în principal de hidrocarburi care au furnizat în 1975, 66% din energia primară așa cum rezultă și din datele referitoare la structura consumului de energie primară trecute în tabela 1.

Evaluările făcute arată că deși au apărut dificultăți legate de aprovizionarea cu țiței încă din 1973, consumul efectiv de hidrocarburi a crescut în acest interval și va continua să crească în următorii ani ponderea în consumul total de energie rămânând însă practic neschimbată.

Evoluția producției și consumului de petrol și gaz natural evidențiază că la nivelul anului 2000 consumul de petrol și gaz natural va fi de 1,7 și respectiv de 2,1 ori mai mare decât în 1975.

Deși între timp se vor descoperi noi zăcăminte de hidrocarburi care vor mări rezervele de energie primară, aceste date evidențiază clar insuficiența resurselor mondiale de hidrocarburi folosite pînă acum ca principală bază de generare a energiei și ca materie primă de chimizare și de aceea apare ca o necesitate stringentă găsirea unor noi surse de energie.

Hydrogen — a carrier of the solar energy

The hydrogen technology is explained in connection with the use of solar energy. Future prospects for the hydrogen market are described.

\*) Institutul de cercetări, inginerie tehnologică și proiectare pentru rafinării.

## 2. Perspectiva folosirii unor noi resurse de energie

Soluțiile care pot fi luate în considerare pe termen scurt pentru asigurarea consumului de energie sînt : dezvoltarea resurselor de petrol și gaz natural încă disponibile pentru acoperirea unei părți cît mai mari din consu-



Tabela 1

## Structura consumului și a resurselor mondiale de energie primară

		Unități	Consum						Resurse
			1960	1970	1975	1980	1990	2 000	
1.	Petrol	%	32	43	48	48	35	30	15
2.	Gaz natural	%	15	21	18	18	18	14	16
3.	Cărbune	%	51	34	30	28	30	27	64
4.	Energie nucleară	%	2	2	2	5	9	25	
5.	Total energie	%	100	100	100	100	100	100	
		mil.tcc.	4 300	7 000	7 900	9 500	14 500	21 500	3 200 000
		indicele	100	160	180	220	340	500	

mul de energie, pe perioade de exploatare cât mai lungi ; dezvoltarea capacităților de fiziune nucleară la nivelul resurselor pentru generarea energiei electrice și înlocuirea combustibililor fosili în centralele electrice ; dezvoltarea rapidă a tehnologiilor bazate pe cărbune pentru producerea de carburanți sintetici.

Ținând seama însă că toate resursele menționate sînt epuizabile într-o perioadă relativ scurtă este necesar ca pe termen lung să se găsească alte soluții. Printre acestea se menționează : dezvoltarea tehnologiei de producere a energiei termice și electrice bazată pe reactori suprarregeneratori și stabilirea modului de aplicare a acestora în condiții de deplină siguranță ; experimentarea și aplicarea industrială a fuziunii nucleare ; dezvoltarea sistemelor de captare și conversie a energiei solare.

Resursele de energie menționate par deosebit de atrăgătoare și pentru producerea hidrogenului căruia îi va reveni un rol important în următoarea etapă deoarece va putea substitui treptat hidrocarburile în consumul energetic.

Tehnologiile de obținere a hidrogenului bazate pe reformingul hidrocarburilor sau electroliza apei sînt cunoscute de mai multă vreme și se aplică industrial în instalații de capacitate mare. Utilizarea energetică a hidrogenului pe scară largă, combustibil pentru generarea energiei electrice, combustibil pentru energia termică necesară încălzitului industrial și casnic și carburant pentru mijloacele de transport rutiere, aero și navale, implică însă disponibilitatea unor cantități mult mai mari decît acelea produse în prezent de industria petrochimică.

Pentru dezvoltarea succesivă a producției de hidrogen la nivelul necesarului determinat de utilizările energetice menționate trebuie rezolvate însă trei probleme esențiale : asigurarea materiei prime ; asigurarea energiei necesare conversiei în hidrogen a materiei prime selecționate ; elaborarea noilor tehnologii de producere a hidrogenului.

Ținând seama de limitarea resurselor de hidrocarburi care sînt folosite în prezent la obținerea hidrogenului singura materie primă care poate



fi luată în considerare la producerea hidrogenului în scopuri energetice este apa.

Asigurarea energiei necesară descompunerii apei (circa  $3,75 \text{ kWh/m}^3 \text{N}$  hidrogen) este problema determinantă a producției de hidrogen energetic. Așa cum s-a arătat, în viitor sursele potențiale de energie pentru descompunerea apei sînt energia solară, fuziunea și fisiunea nucleară. Folosirea efectivă a căldurii proceselor de fisiune nucleară la descompunerea apei prezintă dificultăți datorită nivelului de temperatură ridicat cerut și anume  $2\,500\text{--}3\,000^\circ\text{C}$  la descompunerea termică directă și  $650\text{--}800^\circ\text{C}$  la descompunerea în cicluri termochimice, ca și în cantitățile mari de căldură necesare, condiții care vor putea fi asigurate numai de reactorii nucleari de tipul HTGR (High Temperature Gas Cooled Reactor.) Din aceste motive este foarte importantă folosirea energiei solare la descompunerea apei prin fotoliză sau electroliză. În prealabil este însă necesară punerea la punct a unor sisteme eficiente de colectare și de conversie a energiei solare în forme de energie utilizabile în reacții fotochimice sau electrochimice din care să rezulte în final descompunerea apei în hidrogen și oxigen.

### 3. Folosirea energiei solare la efectuarea reacțiilor de descompunere a apei

Deși densitatea energetică a energiei solare este relativ mică, aceasta poate fi utilizată la realizarea practică a unor reacții chimice prin intermediul cărora se produce direct hidrogen — avînd ca avantaj principal disponibilitatea și neepuizarea în timp atît a materiei prime cît și a sursei de energie. Trebuie să se țină seamă de faptul că întrucît energia solară este constituită din radiații din domeniul ultraviolet, vizibil și invizibil cu lungimi de undă situate într-un interval larg, numai anumite radiații pot fi absorbite în reacții fotochimice. Astfel radiațiile ultraviolete care au mai multă energie iau parte la reacții chimice pe cînd radiațiile din spectrul vizibil și infraroșu acționează numai ca surse de radiație calorică.

De aceea s-au făcut diferite evaluări asupra posibilității de folosire a energiei solare la descompunerea apei, respectiv de utilizare în sisteme complexe atît a energiei luminoase cît și a radiațiilor.

Studiile făcute în diferite țări au arătat că este imposibilă realizarea într-o singură fază a descompunerii directe a apei cu ajutorul energiei solare și de aceea s-a recurs la combinarea unor reacții fotochimice cu reacții electrochimice sau termochimice.

În continuare vor fi evidențiate cîteva metode de descompunere a apei evidențiind posibilitatea folosirii energiei solare la producerea hidrogenului care devine astfel un purtător al energiei solare.

#### 3.1. Descompunerea apei prin reacții foto-electro-chimice

Un sistem interesant de producere a hidrogenului și oxigenului prin scindarea apei a fost experimentat de Tokio Ohta de la Universitatea Națională din Yokohama — Japonia. Acesta constă în principiu în folosirea

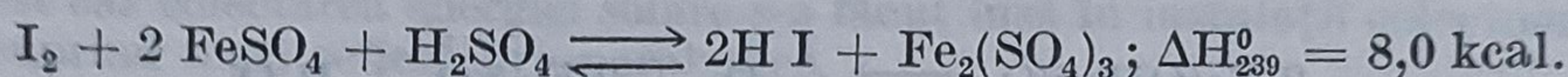


radiațiilor luminoase ale energiei solare pentru realizarea unei reacții fotochimice și a energiei termice la generarea de energie termoelectrică ce se consumă în același sistem la realizarea unor reacții electrochimice producându-se în final hidrogen și oxigen.

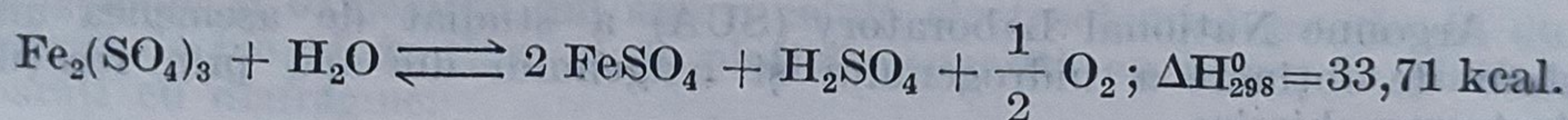
Sistemul experimentat, a cuprins un reactor de fotoliză prevăzut cu celule de sticlă subțiri ( $500 \times 650 \times 5$  mm) expuse radiațiilor solare. În zona acestora s-a alimentat o soluție de sulfat feros, iodură de potasiu, iod și acid sulfuric sau fosforic, corespunzând unei concentrații de iod de circa 3,3 g/l soluție, care s-a expus radiațiilor luminoase.

În reactorul fotochimic s-a realizat transformarea iodului în acid iodhidric și oxidarea concomitentă a sulfatului feros la sulfat feric cu un randament cuantic aproape unu.

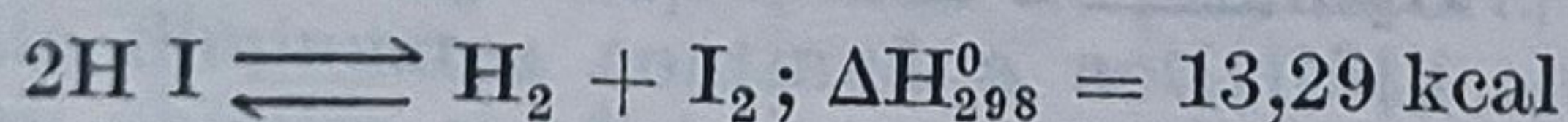
Reacția de bază a fost



În continuare soluția de acid iodhidric și sulfat feric a fost trecută la două reactoare electrochimice. În primul electrolizor alimentat cu apă, s-a separat acidul iodhidric și s-a redus sulfatul feric la sulfat feros cu formarea de oxigen în spațiul anodic după reacția



Acidul iodhidric a fost apoi introdus în electrolizorul II și aici s-a descompus la iod și hidrogen care se degajă în spațiul catodic



Efectul termic global :  $\Delta H_{208}^0 = 55 \text{ kcal/mol H}_2$

Energia termoelectrică furnizată reactoarelor electrochimice este generată cu ajutorul unui modul de termocuple din aliaje semiconductoare de Bi—Te—Sb/Bi—Te—Se cu care s-a realizat un curent de peste 2 V — suficient pentru efectuarea reacțiilor electrochimice — la o diferență de temperatură între capetele termocuplurilor de  $150^\circ\text{C}$ .

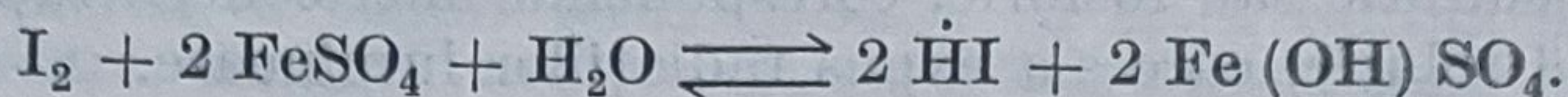
Eficiența reacției fotochimice și a reacțiilor electrochimice a fost de  $30 \div 35\%$  din eficiența totală a sistemului care este de  $5\%$ , în timp ce randamentul de la fotosinteza plantelor este de  $0,2 \div 2\%$ .



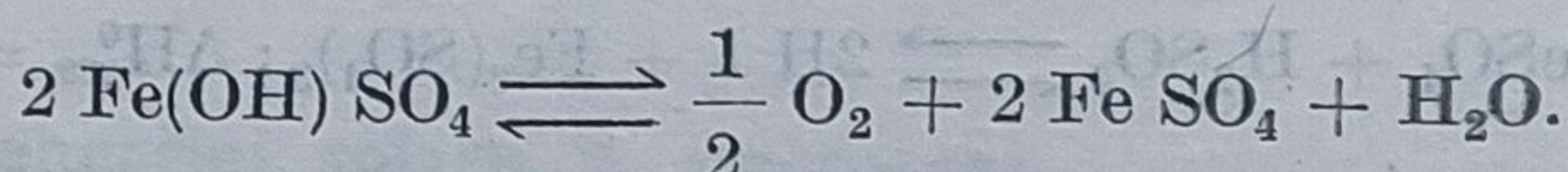
### 3.2. Descompunerea apei prin reacții foto-termochimice

Universitatea Națională din Yokohama a studiat o variantă de descompunere foto-termochimică a apei care este bazată pe reacția de oxidare a sulfatului feros la hidroxisulfat feric și de transformare concomitentă a iodului în acid iodhidric, sub acțiunea radiațiilor ultraviolete.

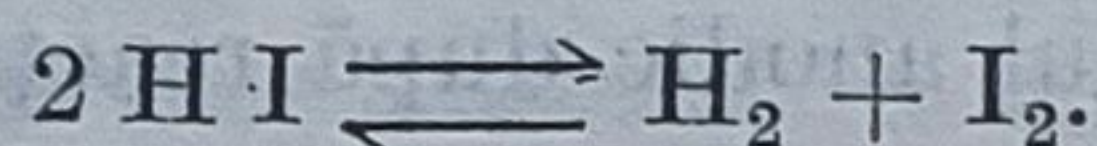
În acest caz reacția fotochimică este



Oxisulfatul feric format intermediar, avînd o structură coloidală se separă prin electroforeză sau filtrare, eventual după amestecare cu substanțe auxiliare și s-a trecut în continuare la un reactor de calcinare, unde s-a descompus în oxigen și sulfat feros prin încălzire la 250°C după reacția

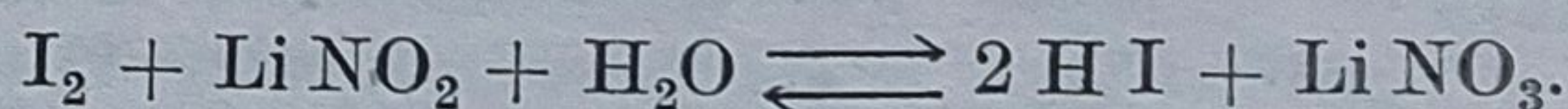


Acidul iodhidric separat s-a descompus în hidrogen și iod prin încălzire la 430°C după reacția



Argonne National Laboratory (SUA) a studiat de asemenea un sistem de obținere a hidrogenului și oxigenului din apă prin reacții foto-termo-chimice.

Reactorul fotochimic al acestui sistem a fost alimentat cu o soluție de iod și azotit de litiu. Sub acțiunea luminii s-a format acid iodhidric și azotat de litiu ca urmare a oxidării azotitului de litiu după reacția



În locul azotitului de litiu se pot utiliza și azotiții celorlalte metale alcaline (sodiul, potasiul, rubidiul, cesiul).

Reacția are loc la 20°C și este inițiată de acidul iodhidric și de aceea nu este necesar să se separe complet iodul de acidul iodhidric înainte de reciclarea la reactorul fotochimic.

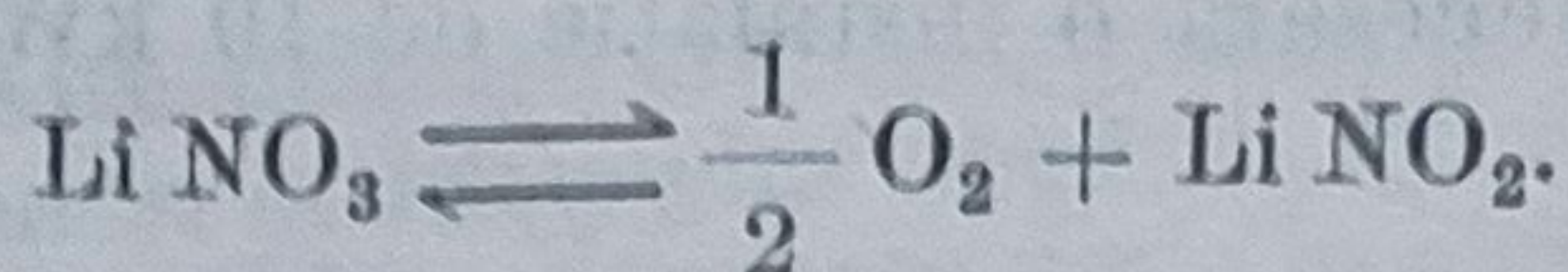
Soluția de azotit de litiu trebuie să fie menținută tot timpul acidă pentru ca acidul iodhidric să nu reacționeze cu azotitul de litiu în care caz se formează oxid de azot.

Acidul iodhidric separat de azotatul de litiu a fost descompus în hidrogen și iod, conform reacției menționate.

Hidrogenul format a fost separat prin difuzie într-o celulă cu membrană ceramică poroasă, iar amestecul de iod-acid iodhidric s-a recirculat la reactorul fotochimic.



Azotatul de litu format în primul reactor s-a supus încălzirii la 480°C într-un reactor special și s-a descompus în oxigen și azotat de litu după reacția



După separarea oxigenului azotitul de litu s-a recirculat la primul reactor împreună cu amestecul iod-acid iodhidric.

### 3.3. Descompunerea electrochimică a apei

O altă metodă de obținere a hidrogenului constă în electroliza apei cu ajutorul energiei electrice obținută prin colectarea și transformarea energiei solare cu ajutorul unor semiconductori care au un mare efect termoelectric. În acest caz colectarea energiei solare s-a făcut însă în instalații colectoare care cuprind mari reflectoare parabolice.

Principalele variante de descompunere electrochimică a apei după acest procedeu sînt :

#### a) Electroliza apei în sistem cu electrod semiconductor

Într-o primă variantă a acestei metode se utilizează pentru generarea hidrogenului și oxigenului din apă o celulă electrochimică prevăzută cu electrozi de bioxid de titan și de platină acoperită cu negru de platină separați cu diafragme.

Electrodul de bioxid de titan a fost expus radiațiilor solare și astfel s-a putut genera energie termoelectrică cu care s-a efectuat reacția de descompunere electrolitică a apei. La electrodul de platină s-a degajat hidrogenul, iar la acela de bioxid de titan oxigenul. În soluția din compartimentul cu electrodul de bioxid de titan s-au adăugat de obicei săruri de fier trivalent care acționează ca promotori. Dezavantajul acestei metode este diminuarea continuă a activității semiconductorului datorită dizolvării chimice și eficiența energetică redusă (1%).

#### b) Electroliza apei cu energie electrică generată prin intermediul semiconductorilor

În altă variantă energia solară este colectată de un material constituit din oxid de magneziu și bioxid de siliciu, care absorb radiațiile luminoase. Energia termică colectată de la radiațiile solare a fost acumulată într-un flux de potasiu sau de sodiu topit și transformată în energie electrică prin intermediul unui modul semiconductor format din aliaje de Bi-Te-Sb sau Zn-Sb. În modul au fost grupate 38 elemente semiconductoare care au generat un curent de 1,5 V, față de tensiunea de 1,23 V necesară electrolizei apei. Un capăt al elementului celulei a fost încălzit la 250°C iar celălalt răcit cu apa supusă electrolizei.



Se menționează că un aparat construit pentru generarea a 6 l hidrogen pe oră a avut o suprafață de colectare a radiațiilor solare de  $0,4 \text{ m}^2$  și o eficiență energetică de 8%. Se estimează că pentru generarea a 8000  $\text{m}^3$  hidrogen/oră este necesară o instalație de 10 kW.

#### 4. Transportul și stocarea hidrogenului

Hidrogenul produs în scopuri energetice poate fi transportat și prin rețelele de gaz natural existente care vor avea nevoie însă de unele adaptări tehnologice pentru evitarea pierderilor și asigurarea funcționării sistemului de distribuție.

Conductele de hidrogen trebuie să aibă un debit de trei ori mai mare față de debitul de gaz natural pentru aceeași cantitate de energie. Datorită densității și viscozității mai mici a hidrogenului este totuși posibilă triplarea capacității conductelor de gaz și micșorarea numărului stațiilor de comprimare.

Pentru aceeași cantitate de energie transportată, costul global al transportului hidrogenului va fi cu 40 ÷ 50% mai mare decât al gazului natural — dar va fi mai mic decât acela al curentului electric echivalent.

Este important de remarcat faptul că hidrogenul se poate transporta și sub formă lichefiată de la instalațiile criogenice la consumatori.

Stocarea hidrogenului se face prin mai multe metode :

— Stocarea unor cantități masive de hidrogen sub formă de gaz — câteva miliarde  $\text{m}^3$  — se poate realiza în cavitățile din formațiunile saline rezultate prin dizolvarea sării, deoarece rocile argiloase compacte care înconjoară zăcămintele de sare asigură etanșeitatea depozitului.

— Stocarea hidrogenului sub formă lichefiată.

Lichefierea hidrogenului se face în condiții mai dificile decât gazul natural datorită temperaturii de lichefiere mai scăzută ( $-253^\circ\text{C}$  față de  $-160^\circ\text{C}$ ) și a comportării anormale a hidrogenului peste  $-71^\circ\text{C}$  când are loc un fenomen de încălzire prin detentă. Pentru aceeași cantitate de energie hidrogenul lichefiat necesită rezervoare cu un volum de 3 ori mai mare decât gazul natural lichefiat.

— Stocarea hidrogenului sub formă de hidruri.

Hidrurile metalelor de tranziție sau alcalino-pământoase și pământurilor rare pot avea în compoziție mai mult de 6% g hidrogen. Generarea hidrogenului din hidruri este posibilă fie prin creșterea temperaturii, fie prin micșorarea presiunii.

#### 5. Utilizările hidrogenului

La nivelul anului 1975 producția mondială de hidrogen a fost de circa 200 mrd  $\text{m}^3$  care s-au consumat aproape integral în industria chimică și a carburanților.

Producerea unor mari cantități de hidrogen din apă prin fotoliză sau electroliză folosind energia solară va conduce la o extindere rapidă



a utilizărilor hidrogenului și la ocuparea unei poziții preponderente ca purtător de energie.

Primul efect al disponibilității hidrogenului va fi consumarea masivă la producerea de carburanți sintetici prin hidrogazeificare și hidrolichefiere a cărbunilor. Alte utilizări ale hidrogenului vor fi: fabricarea amoniacului, metanolului și a diferitelor produse de sinteză în industria chimică; hidrogenarea fracțiilor petroliere grele în scopul obținerii carburanților; generarea energiei electrice prin combustia directă a hidrogenului sau în pile de combustie; reducerea directă a minereurilor; tăierea și sudarea metalelor în industria constructoare de mașini; generarea energiei termice pentru încălzitul industrial și casnic; alimentarea motoarelor cu ardere internă; propulsarea avioanelor și a rachetelor.

Întrucât la producerea hidrogenului prin descompunerea apei rezultă și oxigen se enumeră și principalele extinderi ale utilizărilor acestuia ca urmare a disponibilității: combustia cu randamente mai mari a fracțiilor petroliere și a cărbunilor; prelucrarea chimică oxidativă a hidrocarburilor în scopul sintetizării diferitelor produse chimice; producerea metalelor.

În general toate procesele în care intervine oxigenul din aer vor putea fi adaptate în mod avantajos la utilizarea directă a oxigenului ceea ce va avea ca urmare intensificarea proceselor, mărirea productivității instalațiilor și reducerea consumurilor de materii prime și energie.

## 6. Concluzii

Perspectiva folosirii hidrogenului în scopuri energetice apare ca deosebit de importantă. Faptul că materia primă — apa — este disponibilă nelimitat, că la descompunerea apei în hidrogen și oxigen se folosește energia solară și că la combustia hidrogenului se formează din nou apă care reintră în circuitul ecologic este primul argument în favoarea energeticii bazată pe hidrogen.

Un alt avantaj este posibilitatea folosirii pentru stocare și transport a sistemelor utilizate în prezent la gaz natural — și a substituirii treptate a combustibililor convenționali în instalațiile industriale și casnice cu modificări relativ mici ale rețelelor de distribuție.

Discontinuitatea captării și folosirii energiei solare la efectuarea reacțiilor de generare a hidrogenului poate fi compensată prin stocarea acestuia sub formă gazoasă și hidruri sau în sisteme criogenice.

Studiile făcute pînă acum au evidențiat că energia solară poate fi o sursă convenabilă pentru realizarea unor reacții fotochimice, electrochimice și termice într-o succesiune prin care apa se descompune în hidrogen și oxigen. Rămîne însă să se elaboreze sisteme mai eficiente de colecționare și conversie a radiațiilor solare luminoase și termice și să se selecționeze sisteme complexe de reacții care să aibă o eficiență energetică cît mai ridicată.



## INSTALAȚIE CU CIRCUIT DUBLU PENTRU PREPARAREA APEI CALDE CU AJUTORUL ENERGIEI SOLARE LA O FERMĂ ZOOTEHNICĂ

Victor GĂNESCU\*),  
Mihai G. M. POP\*\*),  
Aurel ARSENESCU\*),  
Ioan ERHAN\*),  
Ecaterina URSU\*\*),  
Dumitru MANEA\*\*)

În cadrul realizărilor din România care vizează utilizarea energiei solare în agricultură pentru producerea apei calde s-au realizat două tipuri conceptual diferite: instalațiile cu circuit simplu de genul celei de la ferma zootehnică Săftica, realizate de INCREST; instalațiile cu circuit dublu, reprezentate prin obiectivul — unic pînă în prezent — de la Bărcănești, realizate de ICPITMA în colaborare cu ICEMENERG. Construcția instalației de la Bărcănești a început în luna mai 1978 iar inaugurarea oficială a fost făcută la data de 6 septembrie 1978.

În perioada iulie 1978 — iulie 1979 s-a desfășurat un amplu program experimental pentru testarea diferitelor componente ale instalației, precum și ale funcționării instalației în ansamblul ei, care au acoperit un întreg ciclu climatic, program care s-a încheiat prin omologarea în luna octombrie 1979 a acestui tip de instalații pentru debite cuprinse între 1 000 și 5 000 litri pe zi.

Double circuit solar system for hot water supply at a baby-beef farm.

The double circuit system under discussion is supplying hot water using solar energy, both for the preparation of the calves food and for technological washings. Solar energy use in such systems leads to important annual savings of conventional fuel, so that their implementation in agriculture represents a necessary step at national level.

\*) Institutul de cercetare, proiectare și inginerie tehnologică pentru mecanizarea agriculturii — ICPITMA.

\*\*) Institutul de cercetări și modernizări energetice — ICEMENERG.

Modelul experimental al instalației de încălzire a apei cu energie solară realizat la Bărcănești este destinat producerii apei calde atât pentru prepararea hranei vițelilor (circa 400 viței) cît și pentru efectuarea spălărilor tehnologice a instalației de distribuire a hranei, în grajdurile de viței perioada I-a, ca instalație complementară. Aceasta însemnează că se furnizează parțial sau total necesarul de apă caldă în funcție de condițiile meteorologice și anotimp, cantitatea lipsă pînă la necesarul nominal fiind dată de o instalație de încălzire clasică, în speță electrică.

În zilele în care condițiile meteorologice sînt prielnice, instalația solară devine insta-



lație de bază (circa 1 745 ore în cursul anului de studiu), permițând funcționarea foarte puțin sau deloc a sursei clasice de încălzire. În cazul condițiilor meteorologice nefavorabile situația se inversează.

### 1. Schema de principiu și caracteristici tehnice generale

Instalația de încălzire a apei cu energie solară are elementele componente conform schemei din figura 1.

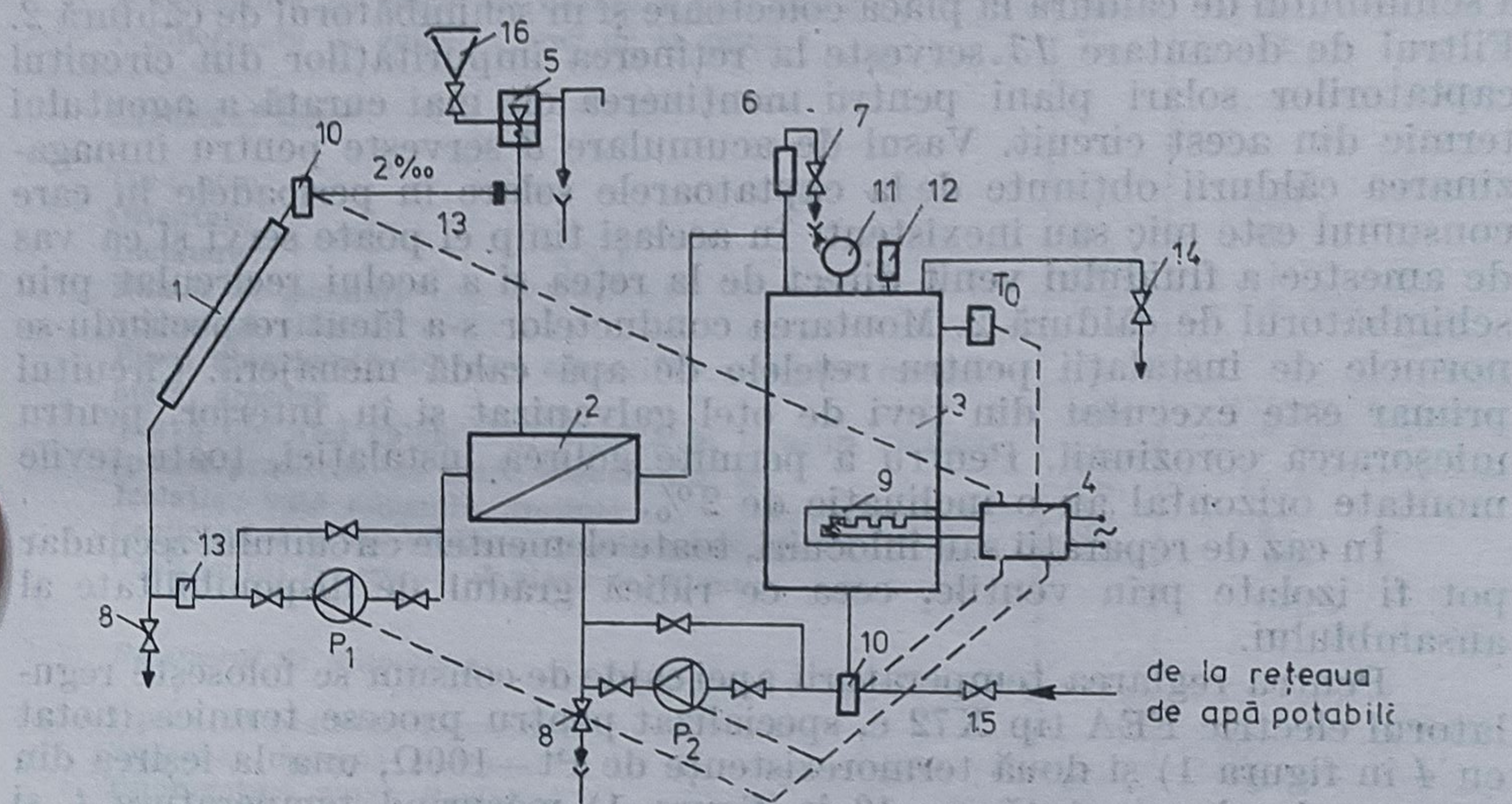


Fig. 1. — Schema instalației de producere a apei calde de consum la ferma Bărcănești:

1 — captator solar plan; 2 — schimbător de căldură de suprafață; 3 — rezervor de acumulare apă caldă; 4 — ansamblu de automatizare; 5 — vas de expansiune; 6 — vas de aerisire; 7 — robinet de aerisire; 8 — robinet de golire; 9 — rezistențe electrice; 10 — traductor de temperatură; 11 — manometru; 12 — supapă de siguranță; 13 — filtru decantare; 14 — robinet utilizare; 15 — robinet serviciu; 16 — pînă de umplere;  $P_1$ ,  $P_2$  — pompe de circulație;  $T_0$  — termostat.

Instalațiile de acest tip sînt prevăzute a funcționa tot timpul anului spre deosebire de schemele cu simplu circuit (circuit deschis) care au durata de funcționare limitată la sezonul cald, neputînd utiliza aditivi pentru micșorarea temperaturii de îngheț a apei în cursul perioadei reci.

Instalația de la Asociația intercooperatistă de îngrășare a tineretului taurin Bărcănești este alcătuită din două circuite separate, elementul de transfer al căldurii din circuitul primar în cel secundar fiind un schimbător de căldură de suprafață (notat cu 2 în figura 1).

Circuitul primar conține captatorii solari 1, pompa de circulație  $P_1$ , filtrul de decantare 13 și parțial schimbătorul de căldură 2. Acesta este umplut cu un amestec apă — 70% și etilen-glicol 30% care permite scăderea temperaturii de solidificare a amestecului la circa  $-15^{\circ}\text{C}$ .

Circuitul secundar (numit și circuitul apei de consum) instalat în întregime în interiorul grajdului — unde există întotdeauna temperaturi



peste  $0^{\circ}\text{C}$  — este alcătuit din vasul de acumulare 3, pompa de circulație  $P_2$ , încălzitorul electric 9 și partea secundară a schimbătorului de căldură 2.

Captatorul solar plan 1, component principal al instalației, este de tip registru, cu placa colectoare îmbrăcată pe țevi, montat într-o carcasă proprie cu izolație termică corespunzătoare. Montarea captatorilor solari s-a făcut pe clădire respectându-se pe cât posibil expunerea sudică. Așezarea alături de clădire este dezavantajoasă datorită ocupării suplimentare a terenului precum și prelungirii unor trasee hidraulice care trebuie izolate. Schimbătorul de căldură 2 este de tip convectiv de suprafață, în contracurent, existent în producția internă curentă. Pompa de circulație  $P_1$ , este o pompă centrifugă, montată în scopul de a asigura o îmbunătățire a schimbului de căldură la placa colectoare și în schimbătorul de căldură 2. Filtrul de decantare 13 servește la reținerea impurităților din circuitul captatorilor solari plani pentru menținerea cât mai curată a agentului termic din acest circuit. Vasul de acumulare 3 servește pentru înmagazinarea căldurii obținute de la captatoarele solare în perioadele în care consumul este mic sau inexistent. În același timp el poate servi și ca vas de amestec a fluidului venit direct de la rețea și a celui recirculat prin schimbătorul de căldură 2. Montarea conductelor s-a făcut respectându-se normele de instalații pentru rețelele de apă caldă menajeră. Circuitul primar este executat din țevi de oțel galvanizat și în interior, pentru micșorarea coroziunii. Pentru a permite golirea instalației, toate țevile montate orizontal au o înclinație de 2%.

În caz de reparații sau înlocuiri, toate elementele circuitului secundar pot fi izolate prin ventile, ceea ce ridică gradul de disponibilitate al ansamblului.

Pentru reglarea temperaturii apei calde de consum se folosește regulatorul electric FEA tip X72 c, specializat pentru procese termice (notat cu 4 în figura 1) și două termorezistențe de Pt—100 $\Omega$ , una la ieșirea din captatorul solar (notată cu 10 în figura 1) măsurînd temperatura  $t_1$  și alta la partea cea mai de jos a vasului de acumulare, măsurînd temperatura  $t_2$ . Termostatul  $T_0$ , de tip cu sondă de imersie, fabricație FEA, întrerupe alimentarea cu energie electrică a bateriilor de rezistențe imersate 9, atunci cînd temperatura apei în rezervor atinge  $45^{\circ}\text{C}$ . În cazul depășirii temperaturii maxime prestabilite de  $45^{\circ}\text{C}$  datorită încălzirii solare schema de reglare nu intervine.

Pompele  $P_1$  și  $P_2$  sînt acționate cu ajutorul regulatorului electronic astfel: cînd  $t_1 - t_2 < 7^{\circ}\text{C}$ , transferul de căldură se face de la captatoare spre vasul de acumulare, fiind necesară acționarea pompelor de circulație; cînd  $t_1 - t_2 > 7^{\circ}\text{C}$ , pentru a evita transferul de căldură invers, pompele se opresc. Caracteristicile tehnice generale ale instalației sînt prezentate în tabelă.

## 2. Performanțele instalației

Captatorul solar plan a fost testat în aer liber într-o buclă experimentală în circuit deschis a cărei schemă de principiu este dată în figura 2.

Conform schemei, apa de la rețea intră în vasul de acumulare 2 cu capacitatea de 400 l și, după trecerea printr-un rotametrul (debite



Tabela

## Caracteristicile generale ale instalației solare cu circuit dublu de la Bărcănești — Prahova

Elementul	U.M.	Valoarea
<b>Caracteristici generale</b>		
Numărul de captatori solari al instalației	buc.	19
Suprafața activă a captatorilor solari	m <sup>2</sup>	aprox. 28,5
Debitul instalației	l/zi	1 500
Temperatura de calcul de livrare a apei calde	°C	45
Temperatura de calcul a apei de la rețea	°C	12
<b>Captatorul solar</b>		
Tip : plan	—	sud
Orientare	0	45
Inclinare	buc.	1
Număr de geamuri	m <sup>2</sup>	1,474
Suprafață vitrată		
Placă absorbantă din oțel acoperită cu vopsea neagră mată, grosime	mm	1
Țeavă din oțel galvanizat, presată în locașuri elastice special practicate în placa absorbantă, Ø	mm	12,7
Izolație : vată minerală, grosime	cm	5
Coeficientul de absorbție al plăcii colectoare	—	0,9
Coeficientul de emisie al plăcii colectoare	—	0,9
<b>Rezervorul de acumulare</b>		
Tipul : cu hidrofor, capacitate	l	2 000
Presiunea maximă de lucru	bar	6
Temperatura maximă/minimă	°C	60/0
Grosimea izolației	cm	10
<b>Schimbătorul de căldură</b>		
Tipul : în contracurent cu țevi de alamă		
Fabricant : Intreprinderea de construcții metalice și aparataje — București		
Suprafața de încălzire	m <sup>2</sup>	5,06
Presiunea maximă de lucru	bar	10
Temperatura maximă a fluidelor de lucru :		
— primar	°C	130
— secundar	°C	60
Izolație termică — vată minerală, grosime	cm	5
<b>Bateria de încălzire electrică</b>		
Puterea	W	3 · 1900
<b>Pompele de circulație</b>		
Tip : Criș 50Ø 124		
Debit	m <sup>3</sup> /h	5
Înălțimea de refulare	m	4
Puterea electromotorului	kW	0,44



mici și mijlocii) sau printr-un debitmetru cu turbină tip Turboquant (debite mari), intră în captatorul solar 1 de unde este evacuată la canal. Temperaturile de intrare  $t_i$  de ieșire  $t_e$  și cea a mediului exterior  $t_{ex}$  se măsoară cu termocuple cuplate la un înregistrator electronic 7, tip FEA — 15 ÷ 80°C, iar intensitatea radiației solare cu ajutorul piranometrului 5. Viteza vântului a fost măsurată cu anemometrul 8 iar  $t_{ex}$  într-o încălțizată 6.

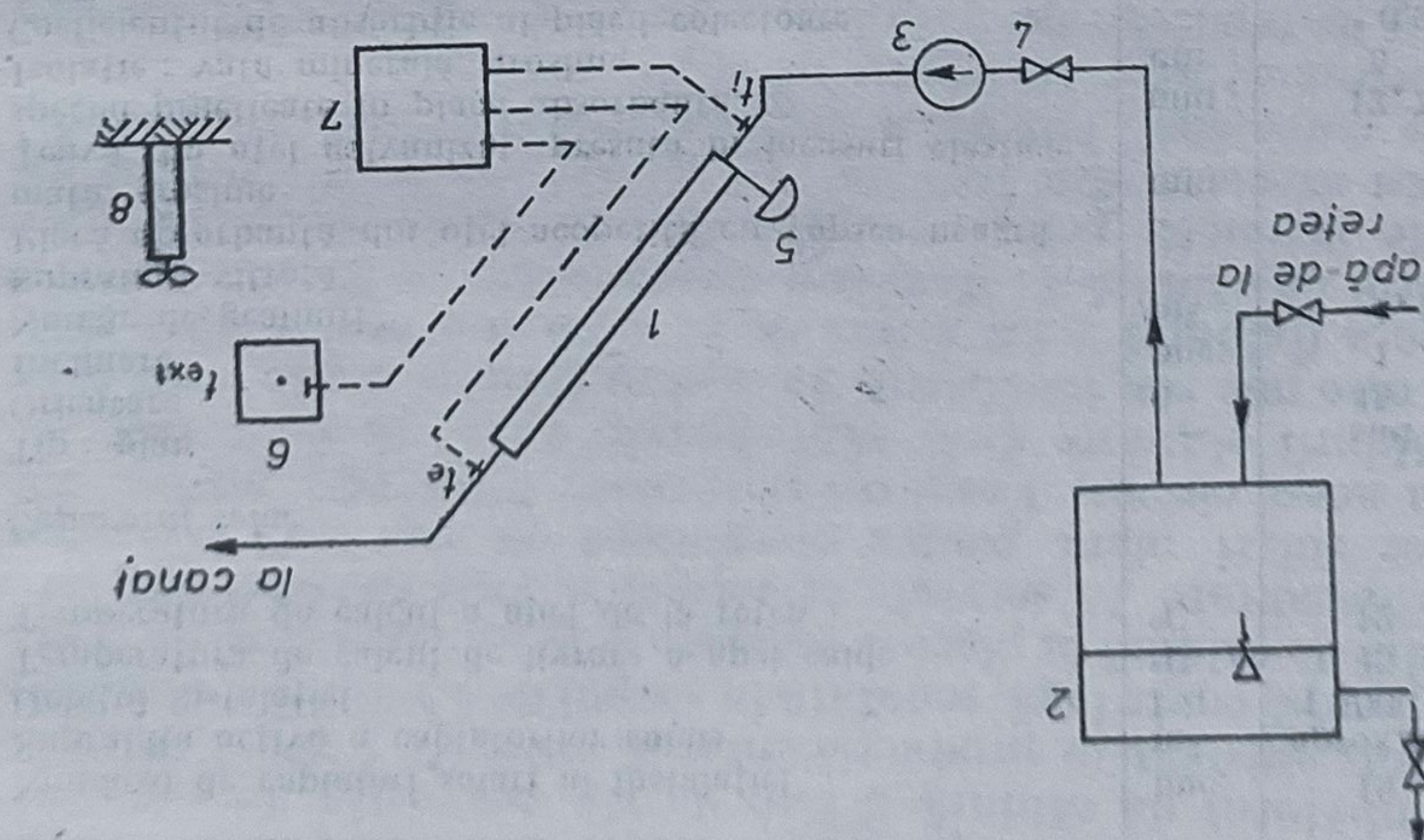


Fig. 2. — Schema de încercare a captatorilor solari plani în aer liber, în circuit deschis.

Caracteristica energetică a captatorului [1, 2, 3] care prezintă variația randamentului colectorului ( $\eta$ ), în funcție de caracteristica de temperatură a acestuia ( $\epsilon$ ) este prezentată în figura 3 [4].

Prin definiție

$$\epsilon = \frac{I}{\left( \frac{t_i + t_e}{2} - t_{ex} \right) [^{\circ}\text{Cm}^2/\text{W}]}, \quad (1)$$

$$\eta = \frac{G_{cp}(t_e - t_i)}{I} \cdot 100 [\%], \quad (2)$$

în care în afara notațiilor deja cunoscute mai intervin:  $I$  — intensitatea radiației solare, în  $\text{W}/\text{m}^2$ ,  $G_{cp}$  — debitul de fluid pe unitatea de suprafață absorbanță, în  $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ,  $c_p$  — căldura specifică a fluidului, în  $\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$ . Funcționarea de ansamblu a instalației în intervalul de timp amintit a urmărit comportarea acesteia pentru diverse debite de agent primar, condiții meteo, grade de umiditate etc.

Energia necesară preparării apei calde de consum la ferma Bărcănești este de 1 350 kWh/lună, ceea ce corespunde la 16 200 kWh/an. Din aceasta, circa 9 189 kWh/an este furnizată pe baza energiei solare.



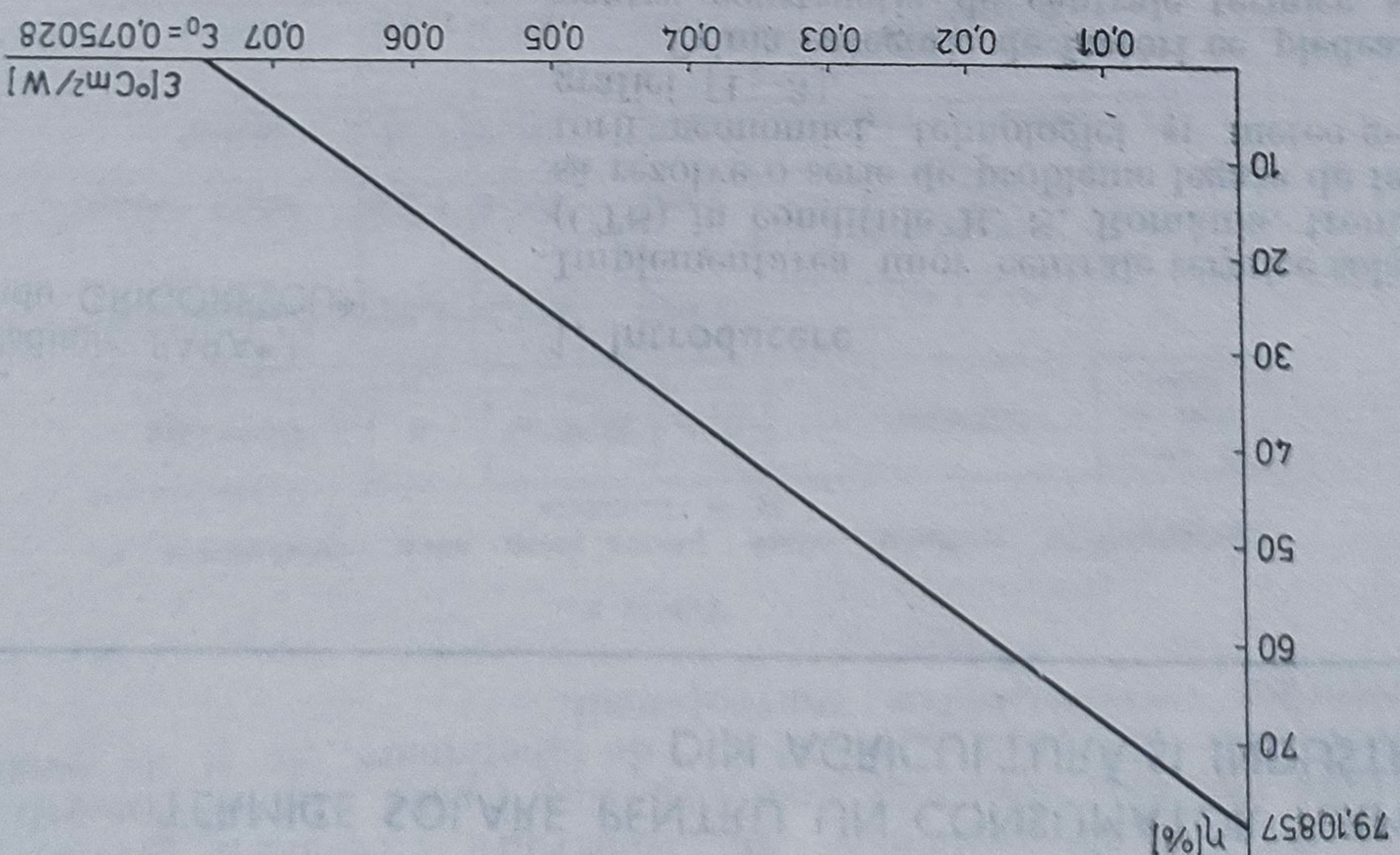


Fig. 3. — Variația  $\eta - \epsilon$  pentru captatorul solar plan IMAIA-1:  $S_{\text{litra}} = 1,474 \text{ m}^2$ :  
 gamă simplu : țevă OL, placă OL sudată : coeficient de corelație  $r = 0,8874086$ .

### 3. Concluzii

Instalația solară cu circuit dublu pentru producerea apei calde menajere de la firma „baby-beet” Bărcănești constituie în România o premieră realizată și pusă în funcțiune în timp record. Rezultatele obținute pe parcursul unui întreg ciclu climatic sînt încurajatoare, conducînd la concluzia că 56,7% din necesarul de căldură al fermei poate fi acoperit cu această instalație. Se poate afirma că experiența dobîndită ar putea fi extinsă la realizarea unor instalații tipizate în domeniul apropiate de debit. Pentru alte domenii de debite instalația realizată poate constitui un bun punct de plecare, cercetări suplimentare pe alte investiții urmînd să conducă la soluțiile finale cerute. Cercetările efectuate au relevat și posibilitatea combinării aportului energetic al diverselor surse necoconvenționale pentru satisfacerea pe o durată cit mai mare a anului a nevoilor de energie a fermelor agricole.

### Bibliografie

1. B. JUSTIN, *Some Aspects of Testing the Thermal Performance of Collectors*, International Solar Energy Society, London, 1977.
2. *Thermal Collection, Storage and Low Temperature Applications*, International Solar Energy Society, U.K. Section, 1976.
3. *Sonnenenergie*, ASSA Informationsdienst, 1 (1978).
4. *Cercetări privind stabilirea tipului corespunzător, realizarea și experimentarea modelului de instalații de încălzire a apei cu energie solară*, ICMA — ICEMENERG.



# POSSIBILITĂȚI DE REALIZARE A UNEI CENTRALE TERMICE SOLARE PENTRU UN CONSUMATOR TERMIC DIN AGRICULTURĂ ȘI INDUSTRIE

## 1. Introducere

Implementarea unor centrale termice solare (CTS) în condițiile R. S. România, trebuie să rezolve o serie de probleme legate de factorii economici, tehnologici și meteo-geografici [1-3].

Prima categorie de factori ce pledează pentru construcția de centrale termice solare, este legată de disponibilitatea radiației solare. În tabela 1 sînt prezentate principalele caracteristici ale radiației solare pentru țara noastră, unde  $n$  reprezintă coeficientul de utilizabilitate  $n = \frac{H_{loc.} D_{loc.}}{H_{min.} D_{min.}} = \frac{K}{H_{loc.} D_{loc.}}$

care oferă indicații asupra posibilității de utilizare a energiei radiației solare cu o eficiență convenabilă a instalațiilor.

Din tabela prezentată se remarcă faptul că țara noastră dispune de coeficienți de utilizabilitate convenabili.

Soluțiile actuale de realizare a CTS-urilor prezintă o serie de dificultăți, punerea la punct a unor tehnologii competitive față de sistemele clasice constituind una dintre preocupările principale ale energiei solare. Legat de tipul consumatorilor de energie termică, problema alegerii între o variantă ce înlocuiește total combustibilii convenționali și o variantă combinată, constituie o altă chestiune în studiu. Soluționarea stocării energiei termice pe o perioadă îndelungată este un factor esențial în alegerea variantei optime. Totodată necesitatea unor suprafețe relativ mari ce trebuie alocate CTS-urilor, implică găsirea unor zone care dispun de terenuri utilizabile pentru agricultură, care să ofere și condiții de însorire corespunzătoare.

Vladimir FARA\*)  
Radu GRIGORESCU\*)

A solar thermal power station for an agricultural and industrial consumer

A project for a solar power station for an agricultural (drying processes) and industrial consumer is presented. The paper gives a detailed explanation of technical and economical performances for such installations, taking into account the solar radiation conditions of Romania.

\*) Institutul politehnic București.



Consecințele economice ale construirii CTS-urilor privesc în primul rând amortizarea și efectul economic final [4], sunt legate atât de amortizarea investițiilor în timpul duratei lor de funcționare, cât și de evoluția prețurilor combustibililor convenționali.

Tabela 1

Caracteristicile radiației solare pentru patru zone caracteristice ale R. S. România

Nr. de ordine al zonei	Subzona	D, h	H, W/m²	n	Observații
I	Litoral	2 400	677,3	1,527	foarte indicat
	zona de sud a țării	2 300	628,9	1,359	foarte indicat
II	zonele de câmpie	2 200	659,7	1,25	indicat
III	zone deluroase, podșuri	2 100	663,4	1,145	indicat
	zone deluroase din nord	2 000	667,6	1,045	depinde de situație
IV	zone de munte	1 800	709,7	0,9	mai puțin indicat

## 2. Alegerea tipului de centrală termică solară

Ținând cont că randamentul de conversie a energiei solare în energie termică este mare (50÷80%), construcția de centrale termice solare este indicată chiar în contextul unor investiții inițiale mari. Principalele tipuri de centrale termice solare (CTS) sunt următoarele: (a) CTS cu câmp de heliostate și turn, caracterizate prin factor de concentrare mare (500÷1 000), ce pot asigura temperaturi și presiuni înalte agentului termic; (b) CTS cu colectori distribuți (colectori parabolici, cilindrico-parabolici etc), caracterizate prin factori de concentrare medii (100÷300), ce asigură temperaturi de ordinul a 100÷200°C agentului termic; (c) CTS cu colectori plani (cu apă sau aer) al căror factor de concentrare este egal cu 1, ce furnizează energie termică la nivelele de temperaturi joase (40÷100°C). Principali parametri ai unei centrale termice solare sunt: aria suprafeței de captare, factorul de concentrare, puterea termică utilă, randamentul metrii caracteristici agentului termic, volumul de stocare, randamentul global. În tabela 2 sunt sintetizate principalele caracteristici ale diferitelor tipuri de colectori.

Din tabela 2 se remarcă faptul că, colectori plani, datorită pierderilor relativ mari pe traseu (pierderi termice) nu pot asigura temperaturile necesare agentului termic (de exemplu în procesul de uscare a cerealelor). În același timp, pierderile de sarcină apreciabile, impun utilizarea unor pompe pentru compensarea acestora.



Tabela 2

Principalele caracteristici ale diferitelor tipuri de colectori solari

Tipul colectorului solar	Temperatura medie de funcționare, °C	Randamentul de colectare, %	Pierderi specifice căilor de transport a energiei, %/km
Colectori plani cu apă	40 ÷ 90	40 ÷ 60	0,5
Colectori plani cu aer	40 ÷ 60	50	1
Colectori cu focalizare	40 ÷ 2 000	60 ÷ 95	0,04

Randamentul unei instalații energetice solare se poate scrie sub forma  $\eta_{\text{inst.}} = \eta_{\text{col.}} \cdot \eta_{\text{transp.}} \cdot \eta_{\text{anex.}} \cdot \eta_{\text{utiliz.}}$ , unde  $\eta_{\text{col.}}$  este randamentul de colectare a energiei radiației solare;  $\eta_{\text{transp.}}$  — randamentul căilor de transport a energiei termice;  $\eta_{\text{anex.}}$  — randamentul instalațiilor anexe;  $\eta_{\text{utiliz.}}$  — randamentul circuitului de utilizare.

Randamentul de colectare este dat de expresia  $\eta_{\text{col.}} = \eta_{\text{opt.c.}} \cdot \eta_{\text{termic.}}$ .

Atunci pentru o instalație cu colectori plani vom avea  $\eta_{\text{inst.1}} = \tau \alpha \eta_{\text{termic.}} (1 - Bm^{-1}v_{1sp}) \eta_{\text{anex.}} \cdot \eta_{\text{utiliz.}}$ , iar pentru o instalație cu heliostate, se obține  $\eta_{\text{inst.2}} = \rho \alpha \eta_{\text{termic.}} (1 - Bm^{-1}v_{2sp}) \eta_{\text{anex.}} \cdot \eta_{\text{utiliz.}}$ , unde  $\tau$  este transmitanța sticlei;  $\alpha$  — absorbanta suprafeței absorbante, respectiv receptoare,  $\rho$  — reflectanța oglinzii heliostatului;  $B$  are dimensiunile unei lungimi, fiind introdus prin relația  $l_{cT} = Bm^{-1}$ ,  $l_{cT}$  — fiind lungimea căilor de transport, iar  $m \equiv A_{\text{utiliz.}}/A_{\text{captare.}}$ .

Pentru compararea celor două tipuri de instalații, putem introduce un coeficient de câștig energetic

$$C_c = \eta_{\text{inst.2}}/\eta_{\text{inst.1}} = \rho/\tau(1 - Bm^{-1}v_{2sp})/(1 - Bm^{-1}v_{1sp}).$$

Alegând valori uzuale pentru mărimile ce intervin în  $C_c$ :  $\tau = 0,94$ ,  $\rho = 0,96$ ,  $v_{1sp} = 0,50\%/km$ ,  $v_{2sp} = 0,04\%/km$  și ținând cont că în cazul unei stații pilot industriale pentru uscarea cerealelor,  $m = 3 \cdot 10^{-3}$ , rezultă că,  $B = 3 \cdot 10^{-2} km$  ( $l_{cT} = 10 km$ ).

În aceste condiții, rezultă:  $C_c = 1,198$ , adică un câștig energetic global de 19,8% față de soluția cu colectori plani. Din aceste considerente, în lucrarea de față a fost aleasă soluția cu colectori cu focalizare. Datorită perspectivelor mari care le oferă, a fost propusă o CTS cu câmp de heliostate și turn.

### 3. Parametrii consumatorului termic (stație solară pentru uscarea cerealelor și plantelor tehnice)

Ne propunem discuția parametrilor unei stații solare experimentale de uscare a cerealelor și plantelor tehnice având o productivitate de 1 t/zi. Debitul termic ce trebuie dezvoltat este exprimat de relația



$\dot{Q} = 15\Delta U\dot{G}$  [kcal/h], unde  $\Delta U$  reprezintă variația umidității produsului în urma procesului de uscare (exprimat în procente), iar  $\dot{G}$  reprezintă debitul de produs uscat (exprimat în kg/h).

Având în vedere că stația solară trebuie să asigure uscarea produselor, reducând umiditatea acestora (tabela 3), rezultă că debitul termic necesar va fi  $\dot{Q} = 15 \cdot 5 \cdot 1\,000 = 75\,000$  kcal/zi = 87 kWh/zi.

Tabela 3

Variația umidității produsului în urma procesului de uscare (cu indicarea perioadei de uscare), pentru cereale și plante tehnice

$\Delta U(\%)$	Produsul	Perioada de uscare
4	grâu	august — septembrie
5	orz + orzoaică	iunie — septembrie
5	soia + ovăz	septembrie — octombrie
5	floarea soarelui	septembrie — octombrie

Temperatura agentului de uscare este cuprinsă în intervalul  $45 \div 115^\circ\text{C}$  (valoarea minimă corespunde uscării inului, iar cea maximă uscării orzului și ovăzului pentru furaj).

Aria suprafeței de captare necesare se calculează cu relația

$$A_{\text{nec.}} = \bar{Q} / \eta_{\text{inst.}} H_{\text{min}} T_{\text{min}} = 87 / 0,2 \cdot 0,55 \cdot 6 = 131,8 \text{ m}^2 \simeq 132 \text{ m}^2.$$

Sintetizând, principalii parametri ai stației solare pilot pentru uscarea cerealelor și plantelor tehnice vor fi: productivitate—1 tonă/zi; temperatura agentului de uscare—maximum  $125^\circ\text{C}$ ; debit caloric minim—87 kWh/zi; aria suprafeței de captare—132 m<sup>2</sup>; randamentul instalației—40 ÷ 70%.

#### 4. Schema de principiu și funcționarea instalației solare propuse

Deoarece principalele componente ale unei CTS cu câmp de heliostate și turn sînt câmpul de heliostate (sistemul optic de concentrare), alcătuit dintr-o multitudine de oglinzi, astfel orientate încît să reflecte radiația solară incidentă într-un focar fix și receptorul, amplasat în vârful unui turn [5], în figura 1 sînt prezentate două variante de câmpuri:

— varianta Baum — Aparissi, pentru care câmpul de heliostate este rotitor (heliostatele fiind plasate pe cărucioare mobile, care se rotesc pe șine circulare, centrul câmpului coincidînd cu focarul sistemului); princi-



palul său avantaj constă în acela că, heliostatele necesită orientarea numai după unghiul de înălțare;

— varianta Hildebrandt, pentru care câmpul de heliostate este fix (câmpul poate fi orientat la nord de focar, heliostatele fiind dispuse în diferite rețele; putem avea de asemenea câmpuri cu focar central).

O schemă termică de principiu a unei centrale termice solare avînd o putere de 100 kWt, destinată unui consumator din agricultură sau industrie (alimentară, ușoară etc.) este prezentată în figura 2.

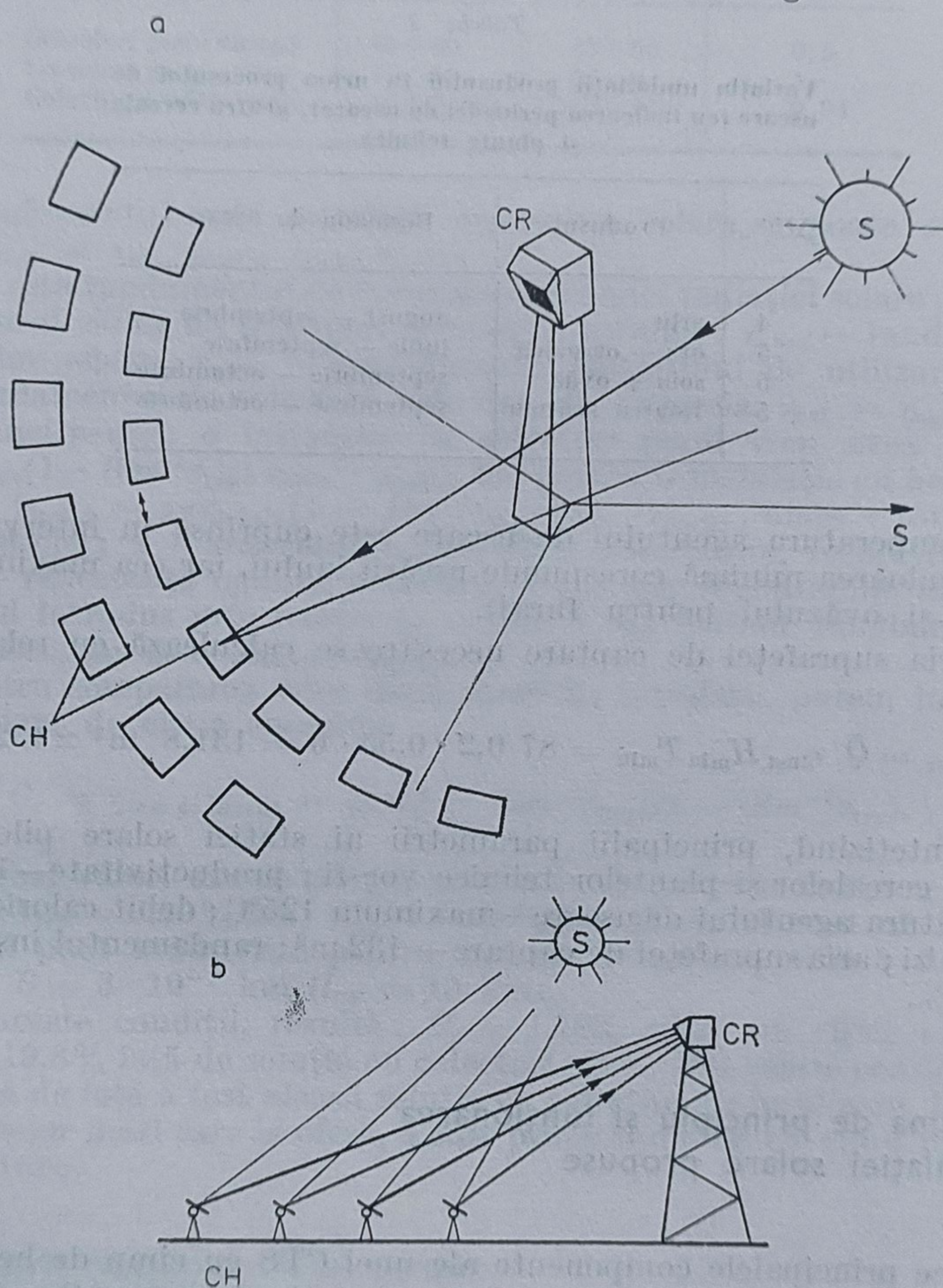


Fig. 1. — Variante de câmpuri de heliostate :

*a* — varianta Baum — Aparissi; *b* — varianta Hildebrandt;  
CH — câmp de heliostate, CR — cavitate receptoare;

În figura 3 este prezentată schema bloc a instalației solare propuse pentru uscarea cerealelor și plantelor tehnice. Radiația solară incidentă este concentrată de către câmpul de heliostate la nivelul cavității recep-



toare *CR*; orientarea după Soare a lui *CH* este realizată cu ajutorul sistemului de orientare *SO*. Energia radiantă este convertită în energie termică în interiorul cavității receptoare *CR*. Căldura preluată de agentul

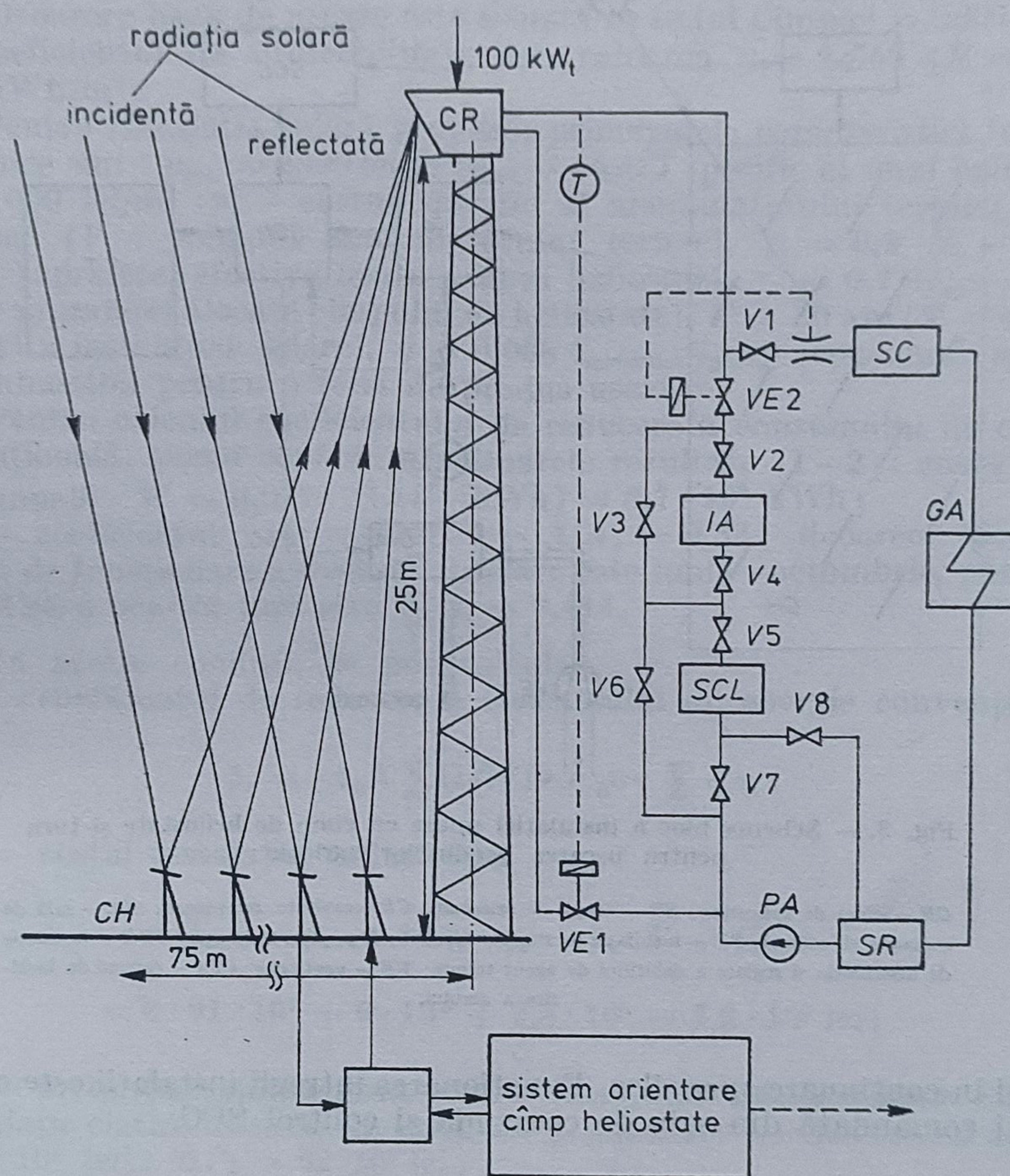


Fig. 2. — Schema termică de principiu a unei centrale termice solare cu câmp de heliostate și turn :

*CH* — câmp de heliostate; *CR* — cavitate receptoare; *SC*, *SR*, *SCL* — acumulatori termici; *GA* — generator de aburi; *V*<sub>1</sub> ..., *V*<sub>8</sub> — ventile; *VE*<sub>1</sub>, *VE*<sub>2</sub> — ventile electromagnetice, *PA* — pompă de alimentare; *IA* — încălzitor auxiliar).

termic este repartizată între instalația de stocare termică *ST* și instalația de încălzire a aerului *CIA* prin intermediul instalației de distribuție și reglare a debitului de agent termic *CDR*. Circulația agentului termic este



asigurată de pompa  $P$ . Debitul de aer necesar este obținut prin intermediul ventilatorului  $VE$ , care îl trimite către instalația de încălzire a aerului

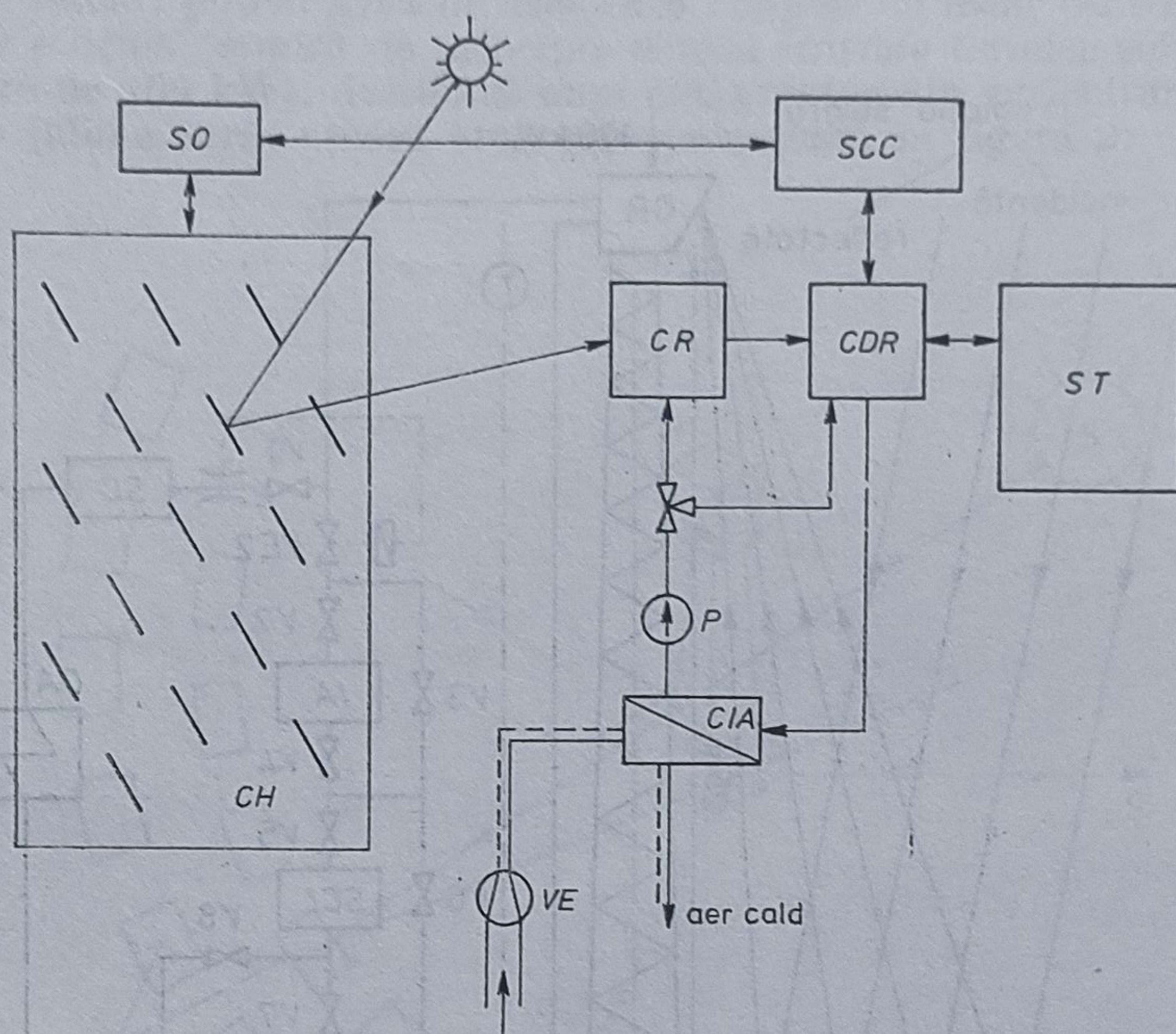


Fig. 3. — Schema bloc a instalației solare cu câmp de heliostate și turn pentru uscarea produselor agricole :

$CH$  — câmp de heliostate;  $SO$  — sistem de orientare;  $CR$  — cavitate receptoare;  $SCC$  — sală de comandă și control;  $ST$  — instalație de stocare termică;  $P$  — pompă de apă;  $CDR$  — instalație de distribuție și reglare a debitului de agent termic;  $VE$  — ventilator;  $CIA$  — cameră de încălzire a aerului.

$CIA$  și în continuare spre siloz. Funcționarea întregii instalații este controlată și comandată din sala de comandă și control  $SCC$ .

##### 5. Considerații economice privind construcția unei stații solare industriale de uscarea cerealelor și plantelor tehnice

Discuția efectelor economice ce vor fi luate în considerare la realizarea unei CTS, trebuie efectuată pentru o stație solară industrială ce ar urma să fie construită după modelul stației solare pilot.

Stația solară industrială de uscarea cerealelor va utiliza energia termică livrată de o centrală termică solară (în varianta cu câmp de helio-



state și turn), aria suprafeței ocupate de câmpul de heliostate fiind  $A = 4,39$  ha.

Într-o bază de uscarea cerealelor și plantelor tehnice se usucă aproximativ  $G = 100\,000$  t de produs anual, produsului reducându-i-se umiditatea cu  $\Delta U = 5\%$ . Instalația clasică de uscarea folosește drept combustibil motorina, costul specific al combustibilului clasic fiind  $p_{cl} = 0,30$  lei/kWh. Deoarece baza de uscarea este situată în sudul Cîmpiei Dunării (zona IB), coeficientul de utilizabilitate are valoarea  $u = 1,359$  ( $K = 1,36 \cdot 10^3$  kWh/m<sup>2</sup>).

Pentru instalația solară propusă, principalele caracteristici tehnico-economice sînt:  $p_{col.} = 2500$  lei/m<sup>2</sup> ( $p_{col.}$  — costul specific al unui heliostat),  $p_s = 6\,000$  lei/m<sup>3</sup> ( $p_s$  — costul specific al acumulatorului termic),  $V = 100$  m<sup>3</sup> ( $V$  — volumul acumulatorului termic),  $c_s = 0,9$  ( $c_s$  — coeficientul suprafeței efective medii a unui heliostat),  $c_{c0} = 0,7$  ( $c_{c0}$  — coeficientul suprafeței alocate câmpului de heliostate),  $T = 30$  ani ( $T$  — durata de viață a instalației solare),  $q = 0,008$  t<sub>motorină</sub>/t<sub>produs</sub> (consumul specific de combustibil pentru o tonă de produs uscat).

Pentru calculul coeficientului de reducere a consumului de energie convențională, ținem cont de următoarele rezultate [1—2]: energia termică anuală:  $W = 0,0174 \dot{G} \Delta U$  [kWh] =  $8,7 \cdot 10^6$  kWh;

— coeficientul arhitectural  $\gamma = A/A_0 = 0,33$ ; deoarece perioada optimă de funcționare a instalației solare este iunie—octombrie, ponderea energetică a acestor luni este  $\sum_i \Omega_i = 0,414$ .

În aceste condiții, se pot calcula:

— coeficientul de reducere a consumului de energie convențională

$$\beta_r = (A_0 K \sum_i \Omega_i / W) c_s c_{c0} u \gamma \sum_i \alpha_i \eta_i;$$

— costul instalației industriale

$$\begin{aligned} C_{inst.} &= p_{col.} \cdot A \cdot c_s \cdot c_{c0} + p_s \cdot V + C_0 = \\ &= 6 \cdot 91 \cdot 10^7 + 6 \cdot 10^5 + 2,3 \cdot 10^6 = 7,2 \cdot 10^7 \text{ lei}; \end{aligned}$$

— investiția suplimentară pentru instalația solară (ținînd cont că, o instalație clasică de uscarea cerealelor și plantelor tehnice constă aproximativ  $10^7$  lei):  $\Delta P_s = 62 \cdot 10^6$  lei;

— economia anuală de bani realizată:  $\Delta P_a = \beta_r W p_{cl}$ ;

— economia de bani realizată pe întreaga durată de funcționare (comparativ cu o instalație clasică):  $\Delta P = T \Delta P_a - \Delta P_s$ ;

— termenul de recuperare a investiției suplimentare  $\Delta T_a = \Delta P_s / \Delta P_a$ ;

— termenul de recuperare pentru investiția totală:  $\Delta T = C_{inst.} / \Delta P_a$ ;

— câștigul net în bani:  $C_{net} = (T - \Delta T) \Delta P_a$ ;

— cantitatea de motorină economisită în timpul duratei de funcționare a instalației:  $GM = \beta_r G$  [tone produs/an]  $T$  [ani]  $\cdot q$  [tone motorină/tonă produs],

— energia suplimentară disponibilă anual:  $W_{suplim.} = (\beta_r - 1) \cdot W$ .  
Rezultatele calculelor sînt prezentate în tabela 4.



Tabela 4

Indicatorii economiei pentru diferite randamente ale instalației solare propuse

$\eta_{\text{inst}}$ %	$\beta_r$ %	$\Delta P_a$ , $\times 10^6$ lei	$\Delta T_a$ , ani	$\Delta T$ , ani	$\Delta P$ , $\times 10^6$ lei	$C_{\text{net}}$ , $\times 10^6$ lei	GM, mii tone	$W_{\text{suplim}}$ , $\times 10^6$ kWh/an
40	97,2	2,5	24,4	28,3	14,1	4,2	22,24	—
50	121,5	3,1	19,5	22,7	33,1	22,6	24,00	1,87
60	145,8	3,8	16,3	18,9	52,1	42,1	24,00	3,98
70	170,1	4,4	13,9	16,2	71,1	60,7	24,00	6,09
80	194,4	5,0	12,2	14,1	90,2	79,5	24,00	8,21

Se remarcă că pentru randamentele globale ale instalației mai mici de 50%, economia de bani realizată prin înlocuirea motorinei nu permite amortizarea instalației, pentru întreaga durată de funcționare. Instalația propusă pentru un randament global de 60% și un termen de recuperare a investiției inițiale de 18,9 ani, conduce la un câștig net de 42,1 milioane lei, disponibil pentru întreținere și reparații, economisindu-se 24 mii tone motorină. Totodată se constată că, instalația realizează o energie suplimentară anuală de 3,98 milioane kWh.

Studiile efectuate de noi [1—3], au condus la stabilirea unei relații de forma  $ap_{\text{col.}}u^2\eta_{\text{col.}}^2 - bp_s u\eta_{\text{col.}} - p_{\text{col.}} = 0$ , unde  $a \equiv (AK^2/q_{\text{col.}})t_v^*$ ,  $b \equiv VK/q_{\text{col.}}$ ,  $q_{\text{col.}} = \beta_r W$ , ce corelează în mod unitar factorii meteo-geografici ( $u$ ), factorii economici ( $p_{\text{col.}}$ ) și factorii tehnologici ( $\eta_{\text{col.}}$ ).

În expresia lui  $a$ , apare timpul redus de viață,  $t_v^* = T(1+r)^{-T}$ , unde  $r = 0,02$  este rata de actualizare a investițiilor.

Pe baza acestei ecuații s-au putut stabili criterii de performanță ale instalațiilor solare.

În tabela 5, este discutată îndeplinirea criteriului economic (costul specific real al colectorului  $p_{\text{col.}} \leq p_{\text{col.}}^*$ ,  $p_{\text{col.}}^*$ , fiind rezultat din calcul, pentru  $u$  și  $\eta_{\text{col.}}$  cunoscuți);  $\delta$  reprezintă indicele de economicitate al instalației ( $\delta \equiv p_{\text{col.}}^*/p_{\text{col.}}$ ).

Tabela 5

Îndeplinirea criteriului economic pentru instalația solară propusă

$\eta_{\text{inst.}}$ , %	$p_{\text{col.}}^*$ , lei/m <sup>2</sup>	indicele de economicitate	îndeplinirea criteriului economic
40	14 045	5,6	DA
50	17 569	7,0	DA
60	21 093	8,4	DA
70	24 632	9,8	DA
80	23 142	11,2	DA

În tabela 6 este discutată îndeplinirea criteriului tehnic de utilizabilitate ( $\eta_{\text{inst}} \geq \eta_{\text{inst.}}^*$ , unde  $\eta_{\text{inst.}}^*$  — randamentul calculat al instalației solare, iar  $\eta_{\text{inst.}}$  — randamentul real al acesteia);  $\epsilon$  reprezintă indicele tehnic de utilizabilitate al instalației ( $\epsilon \equiv \eta_{\text{inst.}}/\eta_{\text{inst.}}^*$ ).



Tabela 6

Îndeplinirea criteriului tehnic de utilizabilitate pentru instalația solară propusă

$\eta_{inst.}$ [%]	$\eta_{inst.}^*$ [%]	Indicele tehnic de utilizabilitate	Îndeplinirea criteriului tehnic de utilizabilitate
40	8,7	4,9	DA
50	7,7	6,4	DA
60	7,1	8,4	DA
70	6,5	10,6	DA
80	6,1	13,0	DA

Din calculele efectuate, se constată că instalația propusă de noi avînd posibilitatea să atingă randamente de 60 ÷ 70 % dispune de indicatori de performanță favorabili.

## 6. Concluzii

Tipul de centrală termică solară propus, impunînd o automatizare corespunzătoare, necesită un personal redus pentru exploatare și întreținere. Ținînd cont de fiabilitatea ridicată a componentelor instalației, rezultă necesitatea unor revizii tehnice sezoniere, și a unui număr relativ redus de reparații. Pentru optimizarea exploatarei, cunoscînd situația reală privind punctele de recoltare, perioadele de recoltare, specificul de uscare a produselor respective și tipul generatorului termic, se poate obține un optimum economic al consumului zilnic al energiei termice furnizate de stația solară.

Datorită faptului că activitatea într-o bază de recepție și depozitare a produselor agricole, implică și „perioade moarte” (zile în care nu există cantități importante de cereale și plante tehnice pentru uscare), rezultă o energie termică importantă furnizată de instalația solară propusă (de ordinul zecilor de MWh zilnic), ce poate fi livrată unor terți consumatori. Ținînd cont că temperaturile dezvoltate de instalație pot atinge 200 ÷ 300°C apare fezabilă înlocuirea combustibililor clasici, într-o serie de procese termice prezente în agricultură și industrie (conservarea produselor agricole, deshidratarea fructelor și legumelor, uscarea produselor lemnoase și a materialelor ceramice etc.).

## Bibliografie

1. V. L. FARA, R. GRIGORESCU, *Analiza tehnico-economică a instalațiilor energetice solare*, Sesiunea „Fizica și energia”, Pitești, 1979.
2. V. L. FARA, R. GRIGORESCU, *Probleme privind construcția unei stații solare pilot de uscarea cerealelor și plantelor tehnice*, raport I.P.B., 1978.
3. V. L. FARA, R. GRIGORESCU, *Criterii tehnico-economice de alegere a variantei optime pentru instalațiile energetice solare din R.S.R.*, Buletinul I.P.B., Seria mecanică, 3 (1981).
4. J. DENTON, *Economic analysis of solar total energy systems*, Energy Conversion, 16, 199 (1974).
5. V. L. FARA, R. GRIGORESCU, V. BĂDESCU, R. CHIȘLEAG, *Procese fizice într-o centrală termică solară cu câmp de heliostate și turn*, St. cerc. fiz., 33, 359 (1981).



---

## PROIECTAREA ASISTATĂ DE CALCULATOR A TEHNOLOGIILOR ENERGETICE SOLARE

---

Alexandru POPOVICI<sup>\*)</sup>

Folosirea calculatoarelor electronice în proiectarea instalațiilor complexe este unul din cele mai moderne și fertile domenii. Prin această metodă se pot studia un număr foarte mare de variante de proiectare ale unui sistem, obținute eventual prin combinarea variantelor pentru diferitele subsisteme ale acestuia, ceea ce este altfel imposibil chiar pentru echipe mari de cercetători și proiectanți. Pentru diferitele variante se pot evalua parametri tehnologici și economici, precum și eventualul impact asupra mediului. În felul acesta se poate alege varianta optimă după unul sau mai multe criterii, într-un timp mult mai scurt și cu un coeficient mult mai mare de siguranță. Desigur, efortul elaborării algoritmilor și programelor de calcul poate fi considerabil, însă rezultatele îl pot justifica pe deplin.

Proiectarea unei stații pentru uscarea semințelor, prin folosirea ca sursă principală a energiei solare, de către un colectiv interdisciplinar de cadre didactice și cercetători din Institutul politehnic București, a inclus și studiul cu ajutorul calculatorului al diferitelor variante de proiectare [1, 2]. Tipul tehnologiei a fost determinat în prealabil de cantitatea de energie necesară respectivului proces și de temperatura ce trebuie obținută, precum și de considerentele economice. Debitul caloric mare, temperatura între  $45 \div 115^{\circ}\text{C}$  și necesitatea unei suprafețe de utilizare reduse, de ordinul a câtorva metri pătrați, au dus la concluzia necesității unui câmp de heliostate, ce ar concentra radiația solară incidentă într-o cavitate receptoare unică, situată într-un turn central, în interiorul căreia această radiație este transformată în energie ter-

Computer aided design for solar energy technologies

A case study for computer aided design of solar energy technologies is presented. The study of the correlation among technological, economic and meteo-geographical parameters is explored by using specialized computer programmes. Computer inputs and results are also given.

---

<sup>\*)</sup> Institutul politehnic București.



mică (respingându-se ca neadecvată soluția captorilor plani cu apă sau aer).

În plus, pentru preluarea optimă a energiei redirectionate de oglinzi, se impune ca direcția axei principale a cavității să fie identică cu cea a normalei la planul deschiderii cavității, în centrul căreia se alege, teoretic, focarul sistemului.

Au fost elaborate programe de calcul necesare, pe de o parte, studiului corelației între parametri tehnologici și cei economici și meteo-geografici, iar pe de altă parte, studiului intensității radiației reflectate de heliostate, în planul deschiderii și în interiorul cavității receptoare. Ambele programe au fost scrise pentru calculatorul FELIX C-256, în limbajul FORTRAN.

★

Programul CORELAT studiază corelația dintre factorii tehnologici (sintetizați în randamentul instalației colectoare:  $\eta_{col.}$ ), factorii economici (sintetizați în prețul unității de suprafață a colectorului:  $p_{col.}$ ) și factorii meteo-geografici (sintetizați în coeficientul de utilizabilitate a instalației:  $u$ ). Se poate arăta că acești trei parametri sînt legați printr-o relație de forma  $apu^2\eta_{col.} - bp_r u \eta_{col.} - p_{col.} = 0(1)$ , în care  $p$  este costul energiei (electrice) obținută prin mijloace clasice,  $p_r$  — costul instalației de stocare (lei/m<sup>3</sup>), iar  $a$  și  $b$  sînt mărimi ce se calculează prin program, cum vom vedea mai departe.

*Datele de intrare* sînt următoarele:

a) factori meteo-geografici:  $I = \{i\}$  — numerele de ordine ale lunilor de funcționare a instalației;  $n_i$  — numărul de zile al lunilor  $i$ ;  $\Omega_i$  — ponderile energetice ale lunilor  $i$  în energia solară anuală;  $d_i$  — durata anuală locală a însoririi (ore);  $H_i$  — intensitatea medie orară locală a radiației solare (W/m<sup>2</sup>/oră);  $K$  — intensitatea anuală a radiației solare (W/m<sup>2</sup>);

b) parametri tehnici ai instalației:  $Q$  — necesarul de energie (cal/zi);  $T_{min}$  — timpul minim de funcționare (ore/zi);  $A$  — suprafața totală de teren alocată;  $A_0$  — suprafața de teren efectiv folosită;  $S$  — suprafața heliostatului (oglinzii);  $c_{co}$  — coeficientul de utilizare a cîmpului de oglinzi;  $c_s$  — coeficientul suprafeței efective medii a cîmpului de oglinzi;  $V$  — volumul instalației de stocare (m<sup>3</sup>);

c) factori economici:  $\eta_{inst.}$  — randamentul cîmpului de oglinzi;  $\eta_{col.}$  — randamentul instalației colectoare;  $p_r$  — costul instalației de stocare (lei/m<sup>3</sup>).

*Algoritmul* conține două etape principale:

I) calculul parametrilor instalației,

II) calculul mărimilor  $a$  și  $b$  și studiul corelației factorilor meteo-geografici, tehnici și economici.

*Etapa I.*

1. Se calculează numărul anual  $n_z$  de zile de funcționare a instalației și ponderea energetică totală  $\Omega$  a lunilor de funcționare:  $n_z = \sum_{i \in I} n_i$ ;

$$\Omega = \sum_{i \in I} \Omega_i.$$

2. Se calculează energia  $W$  necesară anual (watt/an), coeficientul  $u$  de utilizabilitate al instalației în zona geografică respectivă și coeficientul arhitectural  $\gamma$ :  $W = 4,18 n_z Q / 3600$ ;  $u = d_i H_i / K$ ;  $\gamma = A_0 / A$ .



3. Se calculează cantitatea  $Q_{col}$  de energie colectată anual și coeficientul  $\beta_r$  de reducere a consumului de energie clasică:  $Q_{col} = c_s c_{co} u K A_0 \Omega \gamma_{col}$ ;  $\beta_r = Q_{col}/W$ .

4. Se calculează suprafața necesară  $A_{nec}$  a tuturor heliostatelor și numărul  $n$  al acestora:  $A_{nec} = 4,18 Q/(3\,600 H_i T_{min} \eta_{inst})$ ;  $n = A_{nec}/c_s/S$ .

### Etapa II.

1. Se calculează mărimile  $a$  și  $b$ , conform relațiilor:  $a = A_0 K^2/Q_{col}$ ;  $b = VK/Q_{col}$ .

2. Se studiază, pentru două valori ( $p_1$  și  $p_2$ ) ale costului  $p$  al energiei electrice obținută prin mijloace clasice, variația prețului  $p_{col}$  al instalației colectoare în funcție de  $u$  și  $\eta_{col}$ ; coeficientul  $u$  de utilizabilitate variază într-un interval dat  $[u', u'']$  cu pasul  $\varepsilon_1$ , iar randamentul  $\eta_{col}$  al instalației colectoare variază într-un interval dat  $[\eta', \eta'']$  cu pasul  $\varepsilon_2$ ;  $p_{col}$  se obține din ecuația (1), de gradul I în  $p_{col}$ . Evident, au sens numai valorile lui pozitive, dar s-au lăsat și cele negative, pentru a se observa mai bine variația.

3. Se studiază, pentru  $p = p_1$  și  $p = p_2$ , variația randamentului  $\eta_{col}$  al instalației colectoare în funcție de  $p_{col}$  și  $u$ ;  $p_{col}$  variază în intervalul  $[p'_{col}, p''_{col}]$  cu pasul  $\varepsilon_3$  și în intervalul  $[p'''_{col}, p''''_{col}]$  cu pasul  $\varepsilon_4$ , iar  $u$  variază în intervalul  $[u', u'']$  cu pasul  $\varepsilon_1$ . Cum valoarea minimă a lui  $\eta_{col}$  este 0, iar cea maximă este 1, și este de dorit un randament maxim, se alege  $\eta_{col} = \max\{\min[\max(\eta_1, 0), 1], \min[\max(\eta_2, 0), 1]\}$ , unde  $\eta_1$  și  $\eta_2$  sînt rădăcinile ecuației (1), de gradul II în variabila  $\eta_{col}$ .

4. Se studiază, pentru  $p = p_1$  și  $p = p_2$ , variația coeficientului  $u$  de utilizabilitate, în funcție de  $p_{col}$  și  $\eta_{col}$ , cînd  $p_{col}$  variază în intervalele  $[p'_{col}, p''_{col}]$  și  $[p'''_{col}, p''''_{col}]$  cu pașii  $\varepsilon_3$  și, respectiv,  $\varepsilon_4$ , iar  $\eta_{col}$  variază în intervalul  $[\eta', \eta'']$  cu pasul  $\varepsilon_2$ . Cum este de dorit un  $u$  maxim, se alege  $u = \max\{u_1, u_2\}$ , unde  $u_1$  și  $u_2$  sînt rădăcinile ecuației (1), de gradul II în variabila  $u$ . Costurile  $p_1$  și  $p_2$ , limitele intervalelor de variație pentru  $p_{col}$ ,  $\eta_{col}$  și  $u$ , precum și pașii de variație, se introduc ca date variabile.

Rezultatele se tipăresc tabelar, pentru fiecare grup de valori ale parametrilor independenți dîndu-se valoarea calculată a parametrului dependent. În figurile 1—4 se arată un exemplu de calcul cu programul CORELAT. S-au ales niște pași mari de variație, pentru a limita mărimea tabelelor de rezultate obținute.

Din analiza diferitelor variante, a reieșit că este indicată și posibilă construirea în zona aleasă, a unei instalații solare cu un randament global de 65%, producînd energie în cantități depășind necesitățile imediate, la un cost inferior celui pentru metodele convenționale, estimîndu-se pe întreaga perioadă de viață un câștig net egal cu 30% din investiție.

★

Programul INTENS calculează intensitatea radiației solare captate cu ajutorul unui cîmp de heliostate, care o concentrează spre deschiderea unui colector solar situat într-un turn central. Centrul acestei deschideri va fi numit focar, iar planul ei — „plan-imagine”. Heliostatele se orientează automat, în așa fel încît proiecția centrului fiecărei oglinzi să cadă în focar.



# CORELATIA DINTRE PARAMETRII TEHNOLOGICI PARAMETRII METEO SI PARAMETRII ECONOMICI AI INSTALATIEI SOLARE

## PARAMETRII DATI AI INSTALATIEI SOLARE:

\*\*\*\*\*  
NECESAR DE ENERGIE(GCAL./ZI): 48.47200  
TIMP MINIM DE FUNCTIONARE(ORE/ZI): 6.00  
INTENS. MINIMA A RAD. SOLARE(M/M.P.): 550.00  
DURATA ANUALA LOCALA A INSORIRII(ORE): 2200  
INTENS. MEDIE LOCALA A RAD. SOLARE(M/M.P.): 1659.70  
INTENS. ANUALA A RAD. SOLARE(MWH/M.P.): 1.36  
SUPRAFATA ALOCATA(HA): 13.30  
SUPRAFATA EFECTIVA(HA): 4.39  
SUPRAF. HELIOSTAT(M.P.): 16.00  
COEFICIENTUL SUPRAFETEI EFECT. MEDII: 90  
COEFICIENTUL DE UTILIZ. A CIMPULUI DE UGLINZI: .70  
RANDAMENT INSTALATIE: .20  
VOLUM INSTALATIE STOCARE(M.C.): 100.00  
PRET INSTALATIE STOCARE(LEI/M.C.): 60000.00  
RANDAMENT INSTALATIE COLECTOARE: .30  
NUMAR DE LUNI DE FUNCT. (ANUAL): 5  
NR. DE ORDINE ALE LUNILOR: 6 7 8 9 10  
COEF. LUNAR AI PONDERII ILUMINARII: .100 .100 .100 .100 .014  
PARAMETRII CALCULATI:  
\*\*\*\*\*  
NR. ZILE DE UTILIZ. (ANUAL)=153  
NECESAR ANUAL DE ENERGIE(KWH)= 8699876.00  
ENERGIE COLECTATA ANUAL (KWH)= 11916781.00  
COEF. DE UTILIZABILITATE=1.067  
COEF. ARHITECTURAL= .33  
COEF. DE REDUCERE A CONS. DE ENERGI. CLASICA= 1.37  
SUPRAF. NECESARA A CIMPULUI DE HELIOSTATE(M.P.)=86154.44  
NR. NECESAR DE UGLINZI= 5982.95  
A= 6813.70  
B= .01141

PRETURI ENERG. EL. (LEI/KWH): .30 .12  
LIMITE COEF. UTILIZAB.: .70 2.10 PAS VAR.: .70  
LIMITE RANDAM. INSTAL. COLECT.: .10 .90 PAS VAR.: .20  
LIMITE PRET INSTAL. COLECT. (LEI/M.P.): 50.00 1000.00 5000.00  
PASI VAR. (LEI): 200.00 1000.00

Fig. 1

*****			
* PRET *	* *		* PRET *
*ENERG. EL. *	* COEF. *	* RANDAM. *	* INST. COL. *
*(LEI/KWH)*	*UTILIZ.*	*(LEI/M.P.)*	
*****			
* .30 *	* .700 *	* .10 *	* -37.92 *
* *	* *	* .30 *	* -53.65 *
* *	* *	* .50 *	* 10.74 *
* *	* *	* .70 *	* 155.26 *
* *	* *	* .90 *	* 379.92 *
*****			
* 1.400 *	* *	* .10 *	* -55.80 *
* *	* *	* .30 *	* 72.99 *
* *	* *	* .50 *	* 522.29 *
* *	* *	* .70 *	* 1292.11 *
* *	* *	* .90 *	* 2382.44 *
*****			
* 2.100 *	* *	* .10 *	* -53.65 *
* *	* *	* .30 *	* 379.92 *
* *	* *	* .50 *	* 1534.64 *
* *	* *	* .70 *	* 3410.54 *
* *	* *	* .90 *	* 6007.59 *
*****			
* .12 *	* .700 *	* .10 *	* -43.93 *
* *	* *	* .30 *	* -107.74 *
* *	* *	* .50 *	* -139.50 *
* *	* *	* .70 *	* -130.21 *
* *	* *	* .90 *	* -106.87 *
*****			
* 1.400 *	* *	* .10 *	* -79.84 *
* *	* *	* .30 *	* -143.36 *
* *	* *	* .50 *	* -78.68 *
* *	* *	* .70 *	* 114.21 *
* *	* *	* .90 *	* 435.31 *
*****			
* 2.100 *	* *	* .10 *	* -107.74 *
* *	* *	* .30 *	* -106.87 *
* *	* *	* .50 *	* 182.47 *
* *	* *	* .70 *	* 760.27 *
* *	* *	* .90 *	* 1626.53 *
*****			

Fig. 2



*****	PRET	*****	PRET	*****	COEF	*****
*****	ENRG,EL	*****	INST,CL	*****	UTILIZ	*****
*****	(LFI/KWH)	*****	(LET/M.P)	*****	RANDOM	*****
*****	.30	*****	50.00	*****	.700	*****
*****		*****		*****	.567	*****
*****		*****		*****	1.400	*****
*****		*****		*****	.283	*****
*****		*****		*****	2.100	*****
*****		*****		*****	.189	*****
*****		*****	250.00	*****	.700	*****
*****		*****		*****	.743	*****
*****		*****		*****	1.400	*****
*****		*****		*****	.397	*****
*****		*****		*****	2.100	*****
*****		*****		*****	.264	*****
*****		*****	450.00	*****	.700	*****
*****		*****		*****	.951	*****
*****		*****		*****	1.400	*****
*****		*****		*****	.475	*****
*****		*****		*****	2.100	*****
*****		*****		*****	.317	*****
*****		*****	650.00	*****	.700	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	1.400	*****
*****		*****		*****	.540	*****
*****		*****		*****	2.100	*****
*****		*****		*****	.360	*****
*****		*****	850.00	*****	.700	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	1.400	*****
*****		*****		*****	.596	*****
*****		*****		*****	2.100	*****
*****		*****		*****	.397	*****
*****		*****	1050.00	*****	.700	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	1.400	*****
*****		*****		*****	.645	*****
*****		*****		*****	2.100	*****
*****		*****		*****	.430	*****
*****		*****	2050.00	*****	.700	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	1.400	*****
*****		*****		*****	.845	*****
*****		*****		*****	2.100	*****
*****		*****		*****	.563	*****
*****		*****	3050.00	*****	.700	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	1.400	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	.667	*****
*****		*****	4050.00	*****	.700	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	1.400	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	2.100	*****
*****		*****		*****	.755	*****
*****	.12	*****	50.00	*****	.700	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	1.400	*****
*****		*****		*****	.646	*****
*****		*****		*****	2.100	*****
*****		*****		*****	.431	*****
*****		*****	250.00	*****	.700	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	1.400	*****
*****		*****		*****	.795	*****
*****		*****		*****	2.100	*****
*****		*****		*****	.530	*****
*****		*****	450.00	*****	.700	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	1.400	*****
*****		*****		*****	.908	*****
*****		*****		*****	2.100	*****
*****		*****		*****	.605	*****
*****		*****	650.00	*****	.700	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	1.400	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	.668	*****
*****		*****	850.00	*****	.700	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	1.400	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	.724	*****
*****		*****	1050.00	*****	.700	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	1.400	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	.775	*****
*****		*****	2050.00	*****	.700	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	1.400	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	.979	*****
*****		*****	3050.00	*****	.700	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	1.400	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	.775	*****
*****		*****	4050.00	*****	.700	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	1.400	*****
*****		*****		*****	1.000	*****
*****		*****		*****	.775	*****
*****		*****		*****	2.100	*****
*****		*****		*****	1.000	*****

Fig. 3



PRET ENERG.EL. (LEI/KWH)	PRET INST.COL (LEI/M.P)	RANDAM.	COEF. UTIL12.
.30	50.00	.100	3.967
		.300	1.322
		.500	.793
		.700	.567
		.900	.441
250.00		.100	5.553
		.300	1.851
		.500	1.111
		.700	.793
		.900	.617
450.00		.100	6.657
		.300	2.219
		.500	1.331
		.700	.951
		.900	.740
650.00		.100	7.557
		.300	2.519
		.500	1.511
		.700	1.080
		.900	.840
850.00		.100	8.337
		.300	2.779
		.500	1.667
		.700	1.191
		.900	.926
1050.00		.100	9.035
		.300	3.012
		.500	1.807
		.700	1.291
		.900	1.004
2050.00		.100	11.828
		.300	3.943
		.500	2.366
		.700	1.690
		.900	1.314
3050.00		.100	14.004
		.300	4.668
		.500	2.801
		.700	2.001
		.900	1.556
4050.00		.100	15.850
		.300	5.283
		.500	3.170
		.700	2.264
		.900	1.761

Fig. 4

LATITUDINE GEOGRAFICA: 44,09 LONGITUDINE: -26,65  
 HO: 650.00  
 COORD. FOCAR: .00 1.00 15.00  
 UNghi NORMALA LA PLAN IMAGINE CU SUPRAF. PAMINT: 36.87  
 LUNGIME PLAN IMAGINE: 2.40 LATIME: 2.40 PAS: .40  
 COEFIC. DE INTENSITATE: .10  
 SUPRAF. OGILINDA: 4.00 INALTIME DE LA SOL: 1.15 NR. VIRFURI:  
 COORD. VIRFURI OGILINDA  
 1.00-1.00-1.00 1.00 1.00 1.00-1.00-1.00  
 NUMAR DE HELIOSTATE: 54  
 COORDONATE HELIOSTATE  
 D:

4.50	1.50	-1.50	-4.50	7.50
4.50	1.50	-1.50	-4.50	-7.50
10.50	7.50	-4.50	-1.50	-10.50
-4.50	-7.50	-10.50	13.50	10.50
7.50	4.50	1.50	1.50	14.50
-7.50	-10.50	-13.50	17.50	13.50
10.50	7.50	4.50	1.50	-14.50
-7.50	-10.50	-13.50	-17.50	20.50
17.50	14.50	10.50	7.50	4.50
1.50	-1.50	-4.50	-7.50	-10.50
-13.50	-17.50	-20.50	-1.50	
16.00	16.00	16.00	16.00	19.20
19.20	19.20	19.20	19.20	23.00
23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
23.00	23.00	23.00	23.00	27.20
27.20	27.20	27.20	27.20	27.20
27.20	27.20	27.20	27.20	32.00
32.00	32.00	32.00	32.00	32.00
32.00	32.00	32.00	32.00	37.30
37.30	37.30	37.30	37.30	37.30
37.30	37.30	37.30	37.30	37.30
37.30	37.30	37.30	32.00	

NR. DE MOMENTE: 40000

Fig. 5



Calculul se poate face pentru un șir arbitrar de momente de timp. Se consideră, teoretic, trei sisteme rectangulare de coordonate: (1)  $Oxyz$  cu originea la baza turnului captorului, avînd ca axă  $Oz$  verticala turnului, ca  $Ox$  direcția vest-est, iar ca  $Oy$ , direcția sud-nord; (2)  $O'_ix'_iy'_i$  situat în planul oglinzii fiecărui heliostat  $i$ ,  $O'_i$  fiind centrul acestei oglinzi, axele  $O'_ix'_i$ ,  $O'_iy'_i$  fiind perpendiculare pe cele două laturi ale pătratului oglinzii; (3)  $O''x''y''$  situat în planul deschiderii colectorului din vârful turnului, axa  $O''y''$  fiind paralelă cu axa  $Oy$ .

Datele de intrare sînt următoarele: a) parametrii meteo-geografici: latitudinea și longitudinea geografică a locului; intensitatea medie a radiației solare;

b) parametrii tehnici ai colectorului: coordonatele focarului în sistemul  $Oxyz$ ; unghiul dintre normala la planul-imagine și planul  $xOy$  (suprafața pămîntului); lungimea și lățimea dreptunghiului din planul imagine pentru care se studiază intensitatea; pasul caroiajului acestui dreptunghi; „coeficientul-prag” de intensitate; ecuația suprafeței confuzorului (funcție-subprogram); ecuația (ecuațiile) suprafeței interioare a cavității colectoare (funcție-subprogram) și pasul caroiajului.

c) parametrii tehnici ai oglinzilor heliostatelor: suprafața; înălțimea de la sol a centrului; numărul de vîrfuri; coordonatele fiecărui vîrf;

d) parametrii tehnici ai cîmpului de heliostate: numărul de oglinzi; coordonatele proiecțiilor centrului oglinzilor heliostatelor în planul  $OxOy$ ;

e) parametrii de timp: numărul de momente; anul, luna, ora, ziua, secunda, pentru fiecare moment.

Există mai multe opțiuni de rulare a programului, în funcție de rezultatele ce se doresc:

a) Calculul coordonatelor proiecțiilor vîrfurilor oglinzilor în planul-imagine, al suprafeței efective, puterii redirectionate și intensității radiației reflectate de fiecare oglindă.

b) Calculul intensității radiației reflectate în punctele suprafeței receptoare, determinate de caroiaj, și al raportului dintre intensitatea în aceste puncte și cea în focar (%).

c) Calculul temperaturii în punctele suprafeței receptoare, determinate de caroiaj, și al raportului dintre intensitatea în aceste puncte și cea din focar (%).

d) Calculul intensității și temperaturii în punctele suprafeței colectorului, determinate de caroiaj.

Rezultatele fiecărei etape nu se pot obține decît prin parcurgerea etapelor anterioare (cu excepția lui c), care nu e necesar pentru d), dar tipărirea rezultatelor intermediare este opțională.

Algoritmul constă în calculul următoarelor mărimi (în ordinea respectivă):

### Faza I

1) azimutul, elevația și intensitatea radiației soarelui la momentul respectiv;

2) parametrii directori ai planului imagine;



- 3) parametrii directori ai razei solare incidente;
- 4) pentru fiecare oglindă:
  - 4.1. — parametrii directori ai normalei la suprafața oglinzii;
  - 4.2. — suprafața efectivă, puterea redirectionată și intensitatea radiației reflectate;
  - 4.3. — unghiurile Euler ale oglinzii (făcute de proiecția axei  $O'_i x'_i$  pe  $xOy$ , cu axa  $Oy$  și de proiecția axei  $O'_i y'_i$  pe  $yOz$ , cu axa  $Oz$ );
  - 4.4. — coordonatele proiecțiilor vîrfurilor oglinzii în planul  $x''O''y''$ .

### Faza II

Pentru fiecare punct din caroiajul planului-imagine:

- 1) intensitatea radiației reflectate de oglinzi în acel punct (se determină dacă este situat sau nu în interiorul imaginii fiecărei oglinzi pe acest plan, adică se verifică dacă este situat de aceeași parte ca focarul sistemului, față de toate laturile imaginii oglinzii);
- 2) raportul dintre intensitatea radiației și intensitatea din focar (sumă a intensității radiației reflectate de toate oglinzile);
- 3) temperatura corespunzătoare radiației reflectate.

### Faza III

Pentru fiecare punct din caroiajul collectorului:

- 1) intensitatea radiației reflectate de toate oglinzile, direct prin deschiderea cavității sau reflectată de confuzor;
- 2) temperatura corespunzătoare acestei radiații.

Rezultatele se obțin la imprimantă în formă tabelară sau de caroiaj (pentru fazele III, IV), astfel că prin unirea punctelor de egală intensitate se poate obține „harta” distribuției de intensitate (vezi și fig. 5,6).

Ca urmare a studiului rezultatelor obținute în faza a II-a, pentru mai multe momente de timp, se poate determina o formă cât mai adecvată a deschiderii cavității receptoare și a confuzorului (pentru a se pierde cât mai puțin din radiația solară receptată în planul-imagine, dar și pentru a se pierde prin convecție cât mai puțin din energia receptată în interiorul cavității). După aceea, în funcție de rezultatele din faza a III-a, se poate stabili o formă cât mai adecvată a suprafeței cavității receptoare și, prin aceasta, un traseu optim al fluidului de lucru. Invers, impunînd un anumit câmp de temperaturi, se poate ajunge la forma constructivă a cavității.

Corelarea restricțiilor tehnologice cu variațiile de temperatură pe pereții interiori ai cavității receptoare determină o proiectare optimă din punct de vedere al rezistenței la solicitările termice și asigurarea unei siguranțe corespunzătoare în funcționare.

Pentru un număr de cîteva sute de heliostate, timpul de calcul este relativ redus. Pentru un câmp foarte mare de heliostate însă, acest timp devine prohibitiv și devine necesară folosirea metodelor probabiliste, a căror eficiență este direct proporțională cu mărimea „populației” de heliostate din câmp (vezi și [3, 4, 5]).



CALCULUL DISTRIBUTIEI DE INTENSITATE  
LA DATA DE 22. 6. 1978 ORA 16H 0M 0S

POZITIA SOARELUI - AZIMUT: -85.21; ELEVATIE: 39.65

TEMPERATURA IN PUNCTELE SUPRAFETEI RECEPTOARE  
CORESPUNZATOARE PROCENTELOR INTENSITATII IN FOCAR (= 15971.66 N/M.P.)

Y/X	2.40	2.00	1.60	1.20	.80	.40	.00	.40	.80	1.20	1.60	2.00	2.40
2.40	65	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
2.00	170	137	65	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
1.60	304	267	220	170	94	28	28	28	28	28	28	28	28
1.20	391	373	352	317	275	220	154	65	28	28	28	28	28
.80	447	443	428	413	391	363	324	283	197	94	28	28	28
.40	433	444	450	454	454	447	436	409	359	285	187	28	28
.00	379	402	418	436	447	454	460	436	388	326	224	97	28
.40	286	320	344	375	402	418	447	433	388	326	223	119	95
.80	96	140	200	243	286	320	370	380	345	307	201	95	95
1.20	28	28	28	28	28	96	157	212	188	174	173	95	95
1.60	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
2.00	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
2.40	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28

Fig. 6



## Bibliografie

1. V. FARA, R. GRIGORESCU, A. POPOVICI, *Analiza tehnico-economică a unei instalații energetice solare*; Sesiune de comunicări „Fizica și energia”, octombrie 1978, Pitești.
2. V. FARA, A. POPOVICI, R. GRIGORESCU, V. BĂDESCU, *Studiul analitic al distribuției de intensitate a radiației solare în cavitatea receptoare a unei centrale termice solare cu câmp de heliostate și turn*, Sesiune de comunicări „Fizica și energia”, octombrie 1978, Pitești.
3. L. L. VANT-HULL, A. F. HILDEBRAND, *Solar thermal power system based on optical transmission*, *Solar Energy*, 18 (1976).
4. F. W. LIPPS, *Four different views of the heliostat flux density integral*, *Solar Energy*, 18 (1976).
5. M. D. WALZEL, F. W. LIPPS, L. L. VANT-HULL, *A solar flux density calculation for a solar tower concentrator, using a two-dimensional Hermite function expansion*, *Solar Energy*, 19 (1977).



## ENERGIA SOLARĂ ȘI NOILE ASPECTE ALE COOPERĂRII ECONOMICE INTERNAȚIONALE

Emil GLUVACOV\*)

Folosirea energiei solare a redevenit o problemă de actualitate pentru comunitatea internațională. Această sursă alternativă de energie este apreciată ca putînd înlocui resursele energetice clasice, ca o posibilitate de rezolvare a actualei crize.

Tehnologia modernă permite ca în primul rînd statele cu un potențial industrial avansat să poată beneficia de această sursă energetică. Cooperarea multilaterală printr-un transfer real de tehnologie poate constitui în acest domeniu realizarea unui obiectiv major al noii ordini energetice mondiale.

Datele statistice prezentate de către forurile internaționale precum Comitetul O.N.U. pentru energie, Banca Internațională pentru Reconstrucție și Dezvoltare sau de către unele instituții naționale special constituite atestă ca o tendință generală creșterea accentuată a consumului de energie la toți indicatorii, incompatibilă cu actualele rezerve de combustibili naturali, raportată și la exploatarea lor intensivă și nerațională, datorată îndeosebi statelor capitaliste dezvoltate.

Unele consecințe de acum relevate de către F.M.I., au prevăzut că efectele actualei crize energetice nu vor putea fi depășite ca în precedenta criză (1973—1974) prin acordarea de facilități statelor în curs de dezvoltare (deși nesatisfăcătoare), criza avînd repercusiuni nefaste în special față de aceste țări, dar și pentru alte state, conducînd de exemplu la reducerea fluxurilor exporturilor de capital din partea țărilor capitaliste cu excedente ale balanțelor de plăți.

Resursele naturale energetice, nu sînt

Solar energy and new aspects of international economic cooperation

The use of solar energy has become a topical question for the international community. This alternative source of energy is considered to be a substitute for the classical energy resources a possibility of overcoming the current crisis.

Modern technology enables the states with a high industrial potential to be the first to benefit from this energy source. Multilateral cooperation through a genuine technology transfer may represent the achievement of a major target of the new world energy order. Socialist Romania ranks among its most important promoters.

\*) Academia de studii economice



răspândite uniform, egal pe suprafața pământului, astfel chiar unele state industrializate S.U.A., Canada, Marea Britanie și mai recent Danemarca deși dispun de însemnate rezerve petrolifere, continuă să importe mari cantități de petrol și gaze naturale, pe de o parte datorită consumului fără restricții, iar pe de altă parte, în dorința constituirii unor rezerve suplimentare față de îngrijorătoarea escaladă a prețurilor îndeosebi la petrol și derivatele sale.

Din acest punct de vedere statele în curs de dezvoltare sînt la rîndul lor împărțite în state care dispun de resurse naturale pentru producerea de energie și state sărace în asemenea resurse, cele mai grav afectate economic și social de criza energetică mondială.

În acest cadru poziția societăților transnaționale, principalele acționare ale exploatarei resurselor naturale energetice din statele în curs de dezvoltare și totodată principalii intermediari pentru furnizarea de energie, permite ca aceste societăți, datorită politicii lor monopoliste să devină și principalii profitori, în detrimentul unor state de penetrație, ceea ce reprezintă un factor de agravare și complicare a soluțiilor preconizate pentru traversarea acestei crize economice contemporane.

Statele la nivelul O.N.U. au preconizat înființarea unui Comitet pentru societățile transnaționale și a unei Comisii însărcinate cu elaborarea unui Cod de conduită internațională pentru aceste societăți, avînd la bază mai multe documente pregătitoare [3] care să permită luarea unor măsuri de preîntîmpinare a acțiunilor ilicite și de control al activităților acestor importanți subiecți ai cooperării energetice mondiale.

Criza energetică actuală are însă și un alt factor principal de propagare care este cursa înarmărilor, inutila folosire a unor mari cantități de resurse energetice care ar putea fi întrebuintate cu maximă eficiență în sectorul industrial civil, sau de consum direct pentru populație, economia de carburanți putînd să înlesnească depășirea acestei penurii de hidrocarburi și de economisire a unor mari cantități de rezerve energetice acumulate în depozitele militare, în scopul mult mai important al dezvoltării sectoarelor afectate din numeroase state ale lumii [4].

#### 1. Opinii privind instituirea unei noi ordini energetice mondiale — propuneri, luări de poziții și soluții

Numeroasele întruniri internaționale la nivel interstatal sau de experți pe diverse teme ale capitolului energie, reliefează căutări, regroupări de poziții și încercări de ieșire din criză în funcție de propriile posibilități naționale. Se constată însă din ce în ce mai mult că în actuala conjunctură economică mondială, soluțiile unilaterale nu mai sînt posibile [5].

Există însă și opinii formulate de către unele state occidentale care încearcă să acrediteze ideea că actuala criză energetică internațională este consecința politicii economice a țărilor în curs de dezvoltare, exportatoare de petrol, care prin scumpirea „nejustificată” a barilului de petrol perturbă schimburile economice internaționale [6].

Demnă de relevat este propunerea avansată de către autorii care au elaborat sub conducerea profesorului olandez Jan Tinbergen, lucrarea



„Restaurarea ordinii internațional” sub forma unui raport către Clubul de la Roma și în care privitor la criza energetică se arată că: „după ce exercitarea suveranității naționale de către țările lumii a treia asupra resurselor naturale a ajutat la stabilirea unei mai bune egalități între țările producătoare și cele consumatoare de minerale, este recomandată trecerea la conceptul de — patrimoniu comun al omenirii — și transformarea treptată a principiului suveranității teritoriale în suveranitate funcțională” [7].

Constituirea unui așa numit — patrimoniu comun al omenirii — concept acceptat de către state în ceea ce privește bogățiile subsolului mării libere (dincolo de jurisdicția națională) nu își poate găsi aplicarea în interiorul granițelor naționale ale statelor. Chiar dacă se recomandă constituirea unei organizații intitulate — Agenția mondială pentru resursele minerale — este evidentă tendința de acaparare a bogățiilor naturale ale statelor (cele slab dezvoltate îndeosebi) de către statele dezvoltate, sau mai exact găsirea unor noi forme de „legitimare” internațională care să le permită vechea formă de continuare a dominației existente.

Desigur, în această perspectivă, statele în curs de dezvoltare au respins propunerea deoarece nu corespunde intereselor lor. Cooperarea pentru găsirea unor noi surse alternative de energie și înlocuirea surselor clasice, precum și conlucrarea între state pentru compensările necesare între țări apropiate, devine o cerință mai ales în perspectiva realizării transferului de tehnologie.

Șase reuniuni ale unor grupe de experți internaționali având drept scop stabilirea modalităților de accelerare a promovării surselor noi și regenerabile de energie s-au întrunit la sfârșitul anului 1981, sub egida O.N.U. la Geneva, New York, Viena și Nairobi.

Grupurile de experți au sarcina de a examina rapoartele întocmite de opt comitete tehnice asupra posibilităților pe care la oferă utilizarea energiilor solară, biochimică, hidraulică, eoliană și a celor aferente de apa mărilor și oceanelor precum și a șisturilor bituminoase.

Reuniunile programate s-au înscris în cadrul pregătirilor pentru Conferința Națiunilor Unite asupra surselor noi și regenerabile de energie care a avut loc în cursul anului 1981 la Nairobi în Kenya.

## 2. Energia solară de la probabilitate la certitudine științifică, și înaintarea spre o nouă ordine energetică internațională

Căutările înlocuitorilor surselor de energie folosite pe scară largă în prezent a devenit o preocupare constantă, preconizându-se numeroase rezolvări cu aplicații diferite.

S-a constatat astfel că soarele, sursa energetică folosită din cele mai vechi timpuri, dar nu îndeajuns, spre a putea îndeplini necesarul industrial a devenit, datorită noilor descoperiri științifice, o soluție de perspectivă care poate rezolva în parte criza de energie. O primă evaluare a posibilităților de folosire a energiei solare estimează că această sursă este inepuizabilă, ceea ce îi conferă un primat important față de alte surse denumite



„alternative” de energie. În acest domeniu s-a constatat că pe glob există unele zone considerate ca deosebit de favorabile, beneficiind de o climă constantă cu schimbări de temperatură și de producere a precipitațiilor previzibile care în acest caz facilitează instalarea unor aparate de captare a razelor solare și a utilizării acestei energii fără folosirea unor tehnologii complicate. Asemenea regiuni sînt cele situate în : Sahara, Africa Centrală (pe linia Ecuatorului), America de Sud, precum și în Franța sau Spania — în regiunile din sud, unde au fost efectuate experimente cu rezultate încurajatoare pentru această nouă fază a cercetărilor asupra exploatării energiei solare pe scară largă.

Alături de studiile privind trecerea la valorificarea mai deplină a căderilor de apă și a centralelor nucleare, care în opinia unor specialiști ar reprezenta o soluție de moment, energia solară a început să devină o alternativă de prim ordin, fiind considerată în momentul de față soluția de perspectivă în domeniul energetic.

Inițial, deși experiențele desfășurate erau încurajatoare, costul ridicat nu permitea tragerea unor concluzii optimiste. Experimentele realizate mai recent la Stanford (S.U.A.) de profesorul Leonard Nanis care a elaborat o metodă prin care siliciul în stare pură poate fi convertit direct în electricitate, în ritm rapid, cu preț scăzut, rezolvînd în fapt problematica energiei solare prin trecerea ei la valorificarea economică industrială, constituie una din soluțiile de cea mai mare valoare pentru viitor. O opinie similară a avansat fizicianul american Gerard O. Neill de la Universitatea Princeton, care arăta că pînă la sfîrșitul secolului oamenii vor putea să lucreze în spațiu, principala lor ocupație urmînd a fi construirea de generatori solari imenși, pentru transmiterea de electricitate pe pămînt.

Totuși, în știința contemporană există păreri care contrazic optimismul acestor specialiști. Se susține astfel că energia solară nu poate fi pe deplin valorificată datorită unor neajunsuri majore, ca cele privitoare la satisfacerea numai a unor consumatori esențial mici sau medii dar și datorită inconvenientelor legate de captarea și transformarea acestei surse energetice prin cheltuieli destul de mari, raportat la instalarea unor colectoare care solicită un spațiu întins devenit inutilizabil altor activități, precum și riscul unor schimbări atmosferice care reduc considerabil posibilitățile de captare și folosire a acestei resurse de energie alternativă [8].

Cu toate acestea, numeroase state au trecut la programe complexe de valorificare a energiei solare, fie și la un nivel mediu presupus local, în ideea găsirii cît mai devreme a unor modalități de înlocuire a vechilor resurse energetice. Astfel au început să fie construite locuințe cu panouri de captare a energiei solare în Franța, Italia S.U.A., Marea Britanie. Arabia Saudită, experiențe încurajatoare fiind realizate și în România. În Japonia s-a preconizat un amplu program care prevede ca Ministerul Comerțului Internațional și Industriei dispunînd de suma de 100 miliarde yeni să îi aloce în scopul introducerii sistemelor de captare a energiei solare în așa fel ca pînă în anul 1985 să fie încălzite prin acest procedeu 4,2 milioane locuințe, ajungîndu-se în anul 1995 la circa 12 milioane de locuințe și, deci, trecerea la o aplicare generalizată.

Criza energetică a făcut ca în S.U.A. să fie constituită o Comisie de mobilizare în probleme energetice, încercîndu-se prin aceasta o întă-



rire a poziției statale în acest domeniu. În S.U.A. s-a avansat un proiect de lege privind energia, care include crearea unei „bănci pentru dezvoltarea energiei solare”.

Ea va acorda cetățenilor și întreprinderilor interesate împrumuturi pentru achiziționarea și montarea de instalații de captare a energiei solare.

Unul dintre primele contracte de cooperare internațională a fost realizat între Societatea americană „Libbey-Owens Ford” și Compagnie Française des Petroles prin care se acordă asistență în vederea producerii unor panouri solare voltaice pe baza unui nou procedeu de fabricare a acestor generatoare de energie. Se preconizează construirea la El Paso în Texas a unei uzine care să înceapă producția destinată comenzilor guvernamentale și a celor din sectorul agricol.

Și în statele socialiste există preocupări de înlocuire a principalelor surse tradiționale de energie.

În R. P. Ungară s-a trecut la fabricarea unor baterii solare care și-au dovedit eficiența în practică și pot transforma lumina solară în energie electrică, dar dotate cu captatori speciali se pot folosi și ca instalații de siguranță. În R. P. Bulgaria pe linia unor ample cercetări s-a elaborat un plan republican de introducere și valorificare a energiei solare în consumurile medii energetice ca factori potențiali de înlocuire a resurselor folosite pînă acum.

În U.R.S.S. a fost elaborat un proiect pentru construirea unei salbe de centrale de captare a energiei solare în zona orașului Leningrad.

În provincia chineză Qinghai există 12 centre experimentale în care se studiază modalitățile concrete de folosire a acestei surse energetice în cele mai diverse scopuri.

Desigur, și în țara noastră a fost elaborat în cadrul planului de dezvoltare economică, un plan energetic care cuprinde măsuri în legătură cu introducerea pe scară largă a energiei solare [9].

Se relevă însă și preocuparea altor state precum Mexic, Costa Rica, Kenya și Madagascar (din grupul statelor în curs de dezvoltare) care au preconizat folosirea acestei resurse energetice reevaluate în procesul de realizare a unei independențe energetice și totodată economice pe linia dezvoltării lor ascendente.

De la acest stadiu la nivel microeconomic, care constituie o diminuare minimă a marelui consum energetic la nivel statal sau mondial, oamenii de știință au continuat cercetările pentru a realiza o adevărată înlocuire a resurselor de energie obișnuită.

În acest sens s-a pus captarea energiei solare cu ajutorul unor sateliți speciali, plasați pe orbită și care să fie înzestrați cu palete colectoare de mari dimensiuni cu ajutorul cărora să fie în măsură nu numai să înmagazineze căldura solară, ocupînd un spațiu întins, dar care să evite și schimbările atmosferice care să nu mai constituie un impediment în receptarea acestei energii.

Această tehnologie de vîrf în cercetarea științifică mondială reprezintă o propunere și în ceea ce privește extinderea acestor cercetări în domeniul macroeconomic sau extinderea cercetărilor în industria curentă realizînd un necesar energetic de amploare.



Proiectul fiind pe deplin realizabil s-a efectuat și un calcul estimativ de cost care a indicat o sumă apreciabilă, deci posibilități de executare numai pentru statele dezvoltate.

Alte soluții propuse de către specialiști privesc amplasarea unor instalații complexe în largul mărilor și al oceanelor (în afara aparatelor construite pentru captarea căldurii apei sau transformarea în energie a puterii valurilor) și pentru captarea căldurii solare și transformarea ei în energie electrică, sau chiar realizarea unor centrale solare terestre cu aceeași destinație. Ambele proiecte sînt de acum trecute din faza de experiment în etapa de construcție.

Unele state industrializate au și trecut la construcția centralelor solare precum S.U.A., Japonia, Franța, Italia, iar altele ca Australia și Spania le realizează pe baza unui transfer de tehnologie.

În S.U.A. se preconizează chiar ca pînă în anul 2000 să se acopere circa 20—25% din consumul energetic prin folosirea energiei solare, iar în Franța pentru același an circa 10% din necesarul energetic. O comisie de experți a susținut într-un raport înaintat guvernului că Elveția ar putea acoperi prin folosirea intensivă a energiei solare 50% din necesar în anul 1990 și chiar 80% pînă în anul 2000.

Experiența realizată în Franța poate constitui un punct de reflecție pentru trecerea la folosirea energiei solare la nivelul de amploare solicitat. Un plan guvernamental intitulat *Thémis* prevedea în cadrul obiectivelor sale energetice construcția unei centrale solare în Pirineii Orientali, la Targassonne. Termenul de finalizare a fost stabilit în anul 1981 pentru o centrală de 20 MW la un preț evaluat la 80 milioane franci. S-a constatat însă pe parcurs că deși planul guvernamental fusese bine susținut, costul construcției s-a dublat ceea ce a făcut ca la un moment dat să fie abandonată și numai printr-un efort major să se continue, urmînd ca centrala să fie pusă în funcțiune în anul 1982, deci cu un an întîrziere față de prevederi [10].

De asemenea, Australia a încheiat două contracte pentru construirea unor centrale solare cu o putere de 35 kW și respectiv 8 kW de către societăți vest-germane și italiene la un preț de 3,5 milioane dolari, evident sumă puțin accesibilă altor state mai puțin dezvoltate.

S-a trecut în acest domeniu la primele forme de cooperare interstatală multilaterală, cum demonstrează și exemplul Agenției Internaționale pentru Energie (organism care grupează 20 de state capitaliste membre ale O.C.D.E. mai puțin Franța) sub patronajul căreia 8 state au convenit să conlucreze în vederea construirii la Almeria (Spania) a unei stații pilot pentru exploatarea energiei solare.

De la acest stadiu al examinării posibilităților de valorificare a acestei surse alternative de energie pe plan mondial, concluzia desprinsă este că soarele poate constitui o soluție de viitor pentru nevoile mereu crescînde de energie ale statelor dar se impune o cooperare multilaterală deschisă pentru ca într-adevăr să devină un ajutor pentru dezvoltarea economică generală.

Față de reacția unor state care și-au concentrat exclusiv atenția asupra disponibilităților interne, cît și a modalităților proprii de ieșire din criză fie luînd măsuri de raționalizare și economisire fortuită, se impune găsirea unor forme de conlucrare și întrajutorare care să permită



o creștere generală a producției de energie (nu numai în folosul unora) precum și o echitabilă repartitie, un ajutor mai substanțial în acest sector acordat statelor în curs de dezvoltare, îndeosebi celor importatoare de petrol.

Pericolul existent ca marile corporații transnaționale să preia și în acest domeniu un anumit control asupra cercetărilor științifice în legătură cu valorificarea energiei solare nu trebuie neglijat mai ales în condițiile în care aceste firme alocă sume importante precum au anunțat Standard Oil of Indiana, Atlantic Richfield, Texas Instruments (chiar cele interesate în exploatarea petrolului) care sînt preocupate de a încerca găsirea soluțiilor de descoperire a tehnologiei în domeniul energiei solare.

Specialiștii din diverse ramuri de cercetare denumeau secolul XXI, ca un secol al Soarelui, problema majoră este dacă această posibilitate se va realiza în folosul tuturor statelor sau numai al celor industrializate [11].

Pe această linie Kurt Waldheim, fostul Secretar general al O.N.U., a propus instituirea unei noi „ordini energetice internaționale” în cadrul unui discurs rostit la Clubul economic din Detroit, în opinia sa aceasta „n-ar trebui să depindă de vreo autoritate supranațională sau de un sistem de planificare supranațional, ci să oglindească necesitatea unei colaborări sporite la nivel global și regional”.

Este demn de semnalat că pe linia cercetărilor fundamentale desfășurate, energia solară își demonstrează nu numai valoarea, dar se descoperă noi domenii de aplicare de la automobile, avioane și ajungînd la telefon care pot funcționa pe baza acestei noi resurse reevaluate.

La nivelul organismelor internaționale organizate sub auspiciile Națiunilor Unite, se constată în ultima perioadă o activitate prodigioasă pentru concertarea pozițiilor statelor în vederea realizării unei cooperări multilaterale între toate țările.

Dintre acestea la Stocholm s-a desfășurat un simpozion privind Programul Mondial în domeniul utilizării materiilor prime (1979) discutîndu-se și măsurile de apărare ale mediului. În cadrul lucrărilor ECOSOC pe aceeași temă, fostul Secretar General al O.N.U., Kurt Waldheim, relua o propunere a sa de înființare a unui Institut Mondial al Energiei și recomanda ca în domeniul crizei energetice actuale să se acționeze pe trei direcții diferite: investiții importante pentru descoperirea de noi surse de energie; măsuri de economisire foarte ferme; îndeosebi în state dezvoltate; acțiuni specifice în favoarea țărilor în curs de dezvoltare importatoare de petrol, ceea ce în prezent reprezintă noile comandamente ale noii ordini energetice mondiale.

### 3. R. S. România și politica sa de colaborare și cooperare multilaterală în domeniul energetic

Țara noastră, este în permanentă preocupată de valorificarea majoră a resurselor sale energetice și de intensificarea cooperării în acest domeniu, la nivel regional, și multilateral.

Astfel trei dintre documentele de maximă importanță pentru dezvoltarea economică a țării noastre prevăd măsuri în vederea creșterii potențialului său energetic și al cooperării cu alte state. Astfel, Programul



privind directivele de cercetare științifică, dezvoltarea tehnologică și introducerea progresului tehnic în perioada 1981—1990 și direcțiile principale pînă în anul 2000, Directivele Congresului al XII-lea al P.C.R. cu privire la dezvoltarea economică și socială a României în cincinalul 1981—1985 și orientările de perspectivă pînă în anul 2000, precum și Programul-directivă de cercetare și dezvoltare în domeniul energiei pe perioada 1981—1990 și orientările principale pînă în anul 2000 analizează, problema, găsirii și introducerii surselor alternative, printre care și energia solară.

Așa cum se arăta în program sursele noi de energie (printre care în primul rînd energia solară) au reprezentat în 1980 2,7% din structura producției de energie națională și vor ajunge la 5% în anul 1985, 10% în anul 1990 și 20% în anul 2000. Se preconizează „perfecționarea tehnologiilor de captare și folosire a energiei soarelui, tipizarea soluțiilor existente și elaborarea de noi soluții în domeniul construcțiilor și arhitecturii solare, realizarea de sisteme eficiente pentru transformarea energiei solare în căldură și electricitate cu parametri ridicați, reprezentînd soluția necesară pentru folosirea deplină a acestei surse energetice”.

România înțelege să coopereze în acest domeniu în mod democratic cu respectarea principiilor fundamentale ale dreptului internațional și, în primul rînd a principiului suveranității și egalității în drepturi dintre state.

Așa cum se prevede în Programul -directivă în domeniul energiei, țara noastră „... va amplifica cooperarea cu țările în curs de dezvoltare în vederea punerii în valoare, pe baze reciproc avantajoase, a resurselor de diferite categorii existente în aceste țări, prin efectuarea unor lucrări de prospecțiune și exploatare geologică, construcția de obiective energetice, dezvoltarea în comun a noi surse și tehnologii energetice”.

Influența consumului de energie asupra tuturor sectoarelor economiei naționale fiind permanent studiată [19] se impun și forme diverse de cooperare de la contracte de exploatare, ridicarea de centrale electrice și ajungîndu-se la acel transfer de tehnologie care să permită o satisfacere deplină a necesarului intern în această privință. Președintele țării noastre, tovarășul Nicolae Ceaușescu, remarcă: „Este evident că fenomenele actualei crize economico financiare, cu toate urmările sale sînt consecința dezvoltării unor state pe seama altor state, a îngustării posibilităților de dezvoltare economică și drept urmare a acceptării decalajelor între statele avansate și cele în curs de dezvoltare, a consumului nerațional și risipei materiilor prime în detrimentul statelor în curs de dezvoltare” [1]. Instaurarea unor noi relații economice internaționale reprezintă o necesitate obiectivă în actualul stadiu al raporturilor dintre statele comunității internaționale.

Poziția țării noastre în acest context are ca obiectiv atît asigurarea necesarului energetic cît și cooperarea cu toate țările care doresc conlucrarea.

Aceste constatări degajă concluzia mai generală a necesității unor reglementări juridice multilaterale care să poată constitui cadrul de cooperare interstatală, nu numai bilaterală sau regională, dar care să poată realiza instituirea unor norme juridice care să facă posibilă codificarea dreptului dezvoltării și a unei noi ordini energetice mondiale.

Propunînd asemenea măsuri și noi forme de cooperare, România Socialistă a căutat să faciliteze un dialog multilateral, găzduind două pres-



tigioase reuniuni internaționale, prima la nivel ministerial al grupului „celor 77”, consacrată științei și tehnologiei, iar a doua lucrărilor Congresului Mondial al Petrolului.

Tovarășul Nicolae Ceaușescu, președintele Republicii, în discursul pronunțat la deschiderea Congresului Mondial al Petrolului arăta : „... o însemnătate hotărâtoare are dezvoltarea largă a colaborării internaționale pe toate planurile, a cooperării economice și în producție a tuturor țărilor. De asemenea se impune intensificarea conlucrării în domeniul cercetării științifice și tehnologice, știința fiind factorul fundamental chemat să asigure prin aprofundarea structurii materiei și a fenomenelor naturale, soluționarea în perspectivă a nevoilor energetice ale planetei” [2].

Concepția generală a României cu privire la colaborarea economică internațională și înfăptuirea unei noi ordini mondiale are în vedere creșterea rolului organismelor internaționale atât a celor cu tendință de universalitate, precum O.N.U., dar și a unor organisme economice de profil [13]. Primul instrument internațional care a prefigurat aceste aspirații a fost Carta drepturilor și îndatoririlor economice ale statelor, adoptată în 1974, se află în curs de elaborare mai multe documente internaționale printre care un Cod de conduită privind transferul de tehnologie, precum și un altul împotriva practicilor comerciale restrictive ambele elaborate sub egida UNCTAD. Aceste documente au prevederi în legătură cu materiile prime și noile surse de energie. La elaborarea lor țara noastră și-a adus o largă contribuție, fiind convinsă că numai pe această cale se va putea constitui acel amplu cadru juridic care va putea să însemne un nou drept energetic internațional.

Acesta constituie un ansamblu de norme juridice multilaterale menite a alcătui suportul juridic al noii ordini în domeniul energiei mondiale, destinat tuturor statelor comunității internaționale.

### Bibliografie

1. NICOLAE CEAUȘESCU, *Lichidarea subdezvoltării, a decalajelor dintre state, făurirea noii ordini economice internaționale — probleme cardinale ale zilelor noastre*, Edit. politică, 1979, p. 19.
2. NICOLAE CEAUȘESCU, *Cuvîntare la cel de al X-lea Congres mondial al petrolului*, România liberă, nr. 10845, din 10 septembrie 1979.
3. \* \* \* *Effets des sociétés multinationales sur le développement et sur relations internationales*, Nations Unies, New York, 1974.
4. \* \* \* *Consecințele economice și sociale ale cursei înarmărilor și cheltuielilor militare*, Document al O.N.U., Edit. politică, 1978, p. 368.
5. B. TREZZA, *Italia, maglia nera dell'energia*, L'Espresso, n. 28/1979, p. 115.
6. J. L. FATH, *Le tiers monde est-il responsable de la crise?*, Economie & Politique, 23, 30 (1979).
7. J. TINBERGEN, *Restructurarea ordinii internaționale*, Edit. politică, 1978, p. 262.
8. \* \* \* Document O.N.U., E/C 7/109.
9. G. MUSA, *Plasma și viitorul energiei*, Edit. științifică și enciclopedică, București, 1979, p. 10—11.
10. \* \* \* *Programul de directivă de cercetare și dezvoltare în domeniul energiei pe perioada 1981—1990 și orientările principale pînă în anul 2 000*, Edit. politică, 1979, p. 22.
11. M. RICHARD, *Energie solaire; que choisir?*, Le Point, nr. 353/1979, p. 35—36.
12. R. PREBISCH, *Propos sur le développement et la politique commerciale internationale*, în vol. *Justice économique internationale*, Edit. Gallimard, Paris, 1976, p. 192.
13. V. DUCULESCU, *Noua ordine economică internațională, cadru de promovare a unei colaborări și cooperări echitabile pentru toate statele lumii*, în vol. *Principii și forme juridice ale cooperării economice internaționale*, Edit. Academiei, 1979, p. 27.



Mircea MALIȚA, Adrian V. GHEORGHE (sub redacția), *Prezentul și viitorul energiei solare* (Present and future of solar energy), Editura Academiei Republicii Socialiste România, București, 1982, p. 272

## CONTENTS

Ioan URSU Adrian V. GHEORGHE	Solar energy — present and future 11 Solar energy strategies and options 27
Costin MOȚOIU Călin MIHĂILEANU, Vladimir STOENESCU	THE PROBLEM OF ENERGY AND THE SOLAR ENERGY How much can be used from the solar energy 47 Tens of kilowatts energetics (small-power energy sources) 71
Coletta DE SABATA Alexandru DĂNESCU, Stoian PETRESCU Sorin BUCURENCIU Viorel BĂDESCU, Claudia OANCEA Marieta GRIGORIU Ion DIMA	SOLAR ENERGY TECHNOLOGIES Solar energy technologies: Results and prospects 81 The conversion of solar energy into mechanical energy using thermodynamical cycle 92 Orientation systems for solar concentrators 105 Aspects and trends in the research and the use of photo-thermal solar devices with water and air 111 Solar refrigeration equipments 119 Probabilities related to the construction of photovoltaic solar power stations 130
Sandru MICLESCU Dan CONSTANTINESCU	ARCHITECTURE AND SOLAR CONSTRUCTIONS Towards the solar architecture 149 Home heating and the production of hot water using solar energy 163
Valer STOICA, Șerban CONSTANTINESCU, Gheorghe MENCINICOPSCHI Octavian BERBECEL, Maria EFTIMESCU, Cornelia MIHOC, Elena SOCOR Victor GHEORGHE, Laura ȚUGULEA	SOLAR BIOENERGY Biomass — biogas 187  Some considerations concerning the energetic researches of climate for agricultural production 197  Photosynthesis and the solar cells 212
Petre ROMAN Dumitru GOIDEA Victor GĂNESCU, Mihai G.M. POP, Aurel ARSENESCU, Ioan ERHAN, Ecaterina URSU, Dumitru MANEA Vladimir FARA, Radu GRIGORESCU Alexandru POPOVICI Emil GLUVACOV	PROBLEMS OF SOLAR ENERGY IMPLEMENTATION Solar energy and the environment 221 Hydrogen — a carrier of the solar energy 226 Double circuit solar system for hot water supply at a baby-beef farm 234  A solar thermal power station for an agricultural and industrial consumer 240 Computer aided design for solar energy technologies 250 Solar energy and new aspects of international economic cooperation 260



## PROBLEME GLOBALE ALE OMENIRII

Energia solară căreia îi este tributară întreaga viață de pe pământ fascinează prin abundența și constanta ofertei ei. Se afirmă că energia primită de la Soare de către Pământ în 20 de zile este mai mare decât toate rezervele sale fosile. Calculele simple arată că, chiar cu un randament de 10%, 120 m<sup>2</sup> ar putea asigura cererea de energie a unui locuitor al Pământului, iar o suprafață de 360 mii de km<sup>2</sup>, cu aceeași eficiență, ar putea satisface nevoile de energie ale omenirii.

Pentru o populație de 10 miliarde de oameni la un standard de viață ridicat, o arie de 3 000 km<sup>2</sup>, adică 6% din suprafața Pământului, ar fi suficientă. Partizanii energiei solare invocă frecvent date asemănătoare pentru a demonstra urgența orientării cercetărilor științei și tehnicii pentru exploatarea economică a acestei energii.

Volumul de față reprezintă o completare a volumului „Energia în următoarele trei decenii”, din aceeași serie, și este — fără îndoială — un punct de plecare pentru dezbateri mai amănunțite în problema presantă și vitală a energiei.